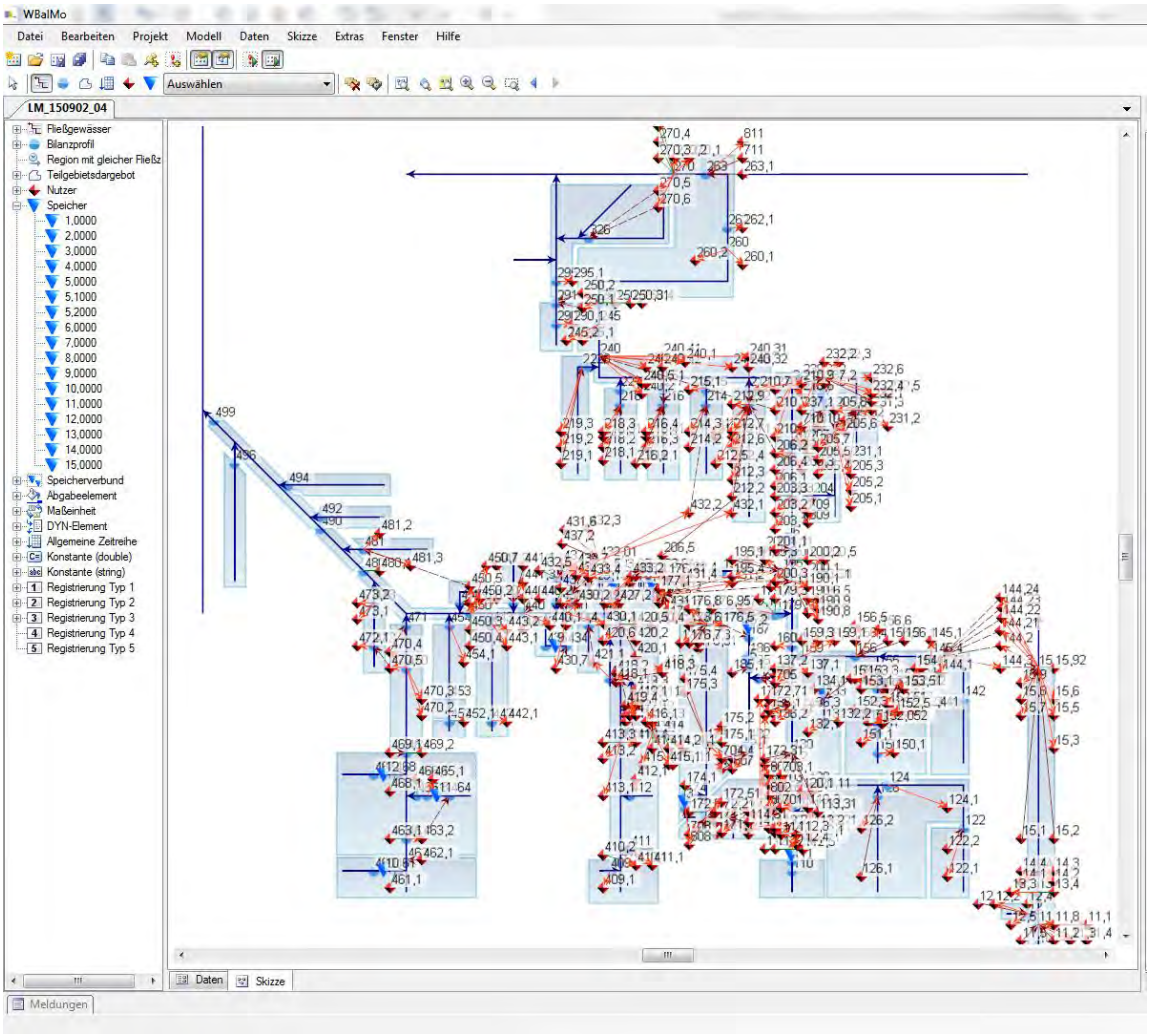
Erstellung des Sulfatprognosemodells Spree

Abschlussbericht



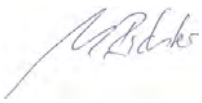
Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg

Abschlussbericht

The expert in WATER ENVIRONMENTS

Juli 2017

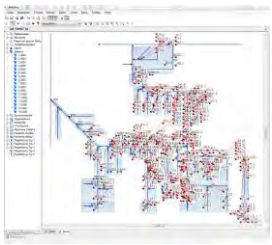
Dieser Bericht wurde im Rahmen des DHI Business-Management-Systems (Bureau Veritas - zertifiziert nach ISO 9001, Qualitätsmanagement) erstellt.

vorgelegt von	Genehmigt von
25.07.2017	27.07.2017
X	X 
Signiert von: Michael Kaltofen	Signed by: Marcus Richter
Dr. Michael Kaltofen Geschäftsbereichsleiter Wasserressourcenmanagement	Marcus Richter Direktor Geschäftsentwicklung

Erstellung des Sulfatprognosemodells Spree

Abschlussbericht

Erstellt für	Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Inselstraße 26 03046 Cottbus
Vertreten durch	Herrn Alexander Reinsch-Reuß



Screenshot WBalMo Spree/Schwarze Elster LM150902-04

Projektmanager	Dr. Michael Kaltofen

Projektnummer	14803857
Datum Genehmigung	27.07.2017
Revision	3.0
Einstufung	Vertraulich

© DHI-WASY. Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Dokuments darf in irgendeiner Form ohne vorherige schriftliche Genehmigung durch DHI-WASY reproduziert, übertragen oder auf irgendeine Weise außerhalb der Organisation des Empfängers verbreitet werden.

DHI-WASY GmbH • Volmerstraße 8 • 12489 Berlin •
Telefon: +49 (0)30 6799980 • Telefax: +49 (0)30 679998-99 • mail@dhi-wasy.de •

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis ..... **iii**

Tabellenverzeichnis ..... **xii**

Verzeichnis ausgewählter Abkürzungen ..... **xiv**

Veranlassung und Zielstellung **1**

1 WBalMo Spree/Schwarze Elster **1**

1.1 Beschreibung des gegenwärtigen WBalMo Spree/Schwarze Elster 1

1.1.1 Zielstellung 1
1.1.2 Überblick und methodische Grundlagen des Modellkomplexes WBalMo Spree/Schwarze Elster 1
1.1.3 Einleitungen (Sümpfungswasser, Kläranlagen, Ausleitung TRG, Teichwirtschaften) 5
1.1.4 Wassernutzungen und Rangfolge der Wasserbereitstellung: Sachsen 6
1.1.5 Wassernutzungen und Rangfolge der Wasserbereitstellung: Brandenburg und Berlin 12
1.1.6 Wasserbereitstellung aus Talsperren, Speichern und Überleitungen 16
1.1.7 Besondere Regeln und methodische Ansätze 20

1.2 Aktualisierung von Daten und Regeln 21
1.3 Erweiterung um Maßnahmekonzepte 21

1.3.1 Nordraum mit Oberspreewald 21
1.3.2 Südraum 24
1.3.3 Steuerungsoptionen für das Gesamtgebiet 25

2 Sulfatprognosemodell **27**

2.1 Analyse gemessener Sulfatdaten 27

2.1.1 Datenlage im Untersuchungsgebiet zum 10.06.2016 27
2.1.2 Weitere Aufbereitung und Übergabe von Datenanforderungen 36
2.1.3 Ableitung der Grundstruktur des Sulfatprognosemodells Spree 37

2.2 Sulfateintragsmodule 43

2.2.1 Sulfateintragsmodule Südraum 43
2.2.2 Spreegebiet bis Spreewald mit Tranitz, Malxe und Hammergraben 86
2.2.3 Sulfateintragsmodule Nordraum 99
2.2.4 Sulfateintragsmodul Untere Spree 141

2.3 Sulfattranslationsmodule 148

2.3.1 TS Spremberg 149
2.3.2 Sulfattranslationsmodul Spreewald 159
2.3.3 Sulfattranslationsmodul WW Briesen 172
2.3.4 Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf 180

2.4 Sulfatsteuerungsmodule 196

2.4.1 Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal 198
2.4.2 Sulfatsteuerungsmodul Leibsch 199
2.4.3 Sulfatsteuerungsmodul WW Briesen 200

2.5 Integration der Sulfatmodule in das WBalMo Spree/Schwarze Elster 201

3 Ergebnisauswertung 202

3.1 Fragmentierung der Ergebniszeitreihen 202

3.1.1 Methodik 202
3.1.2 Analyse der Datengrundlagen 204
3.1.3 Beispielhafte Erzeugung der täglichen Konzentrationen 205
3.1.4 Beispielhafte Darstellung der täglichen Schwankungen der Sulfatkonzentration in Bezug auf Monatsmittelwerte 207

3.2 Module Ergebnisauswertung und Indikatoren 209

4 Prüfung des WBalMo-Sulfatprognosemodells 217

4.1 Übersicht zum Sulfatprognosemodell 217

4.1.1 Modellvergleich 217
4.1.2 Parameter der Sulfateintragsmodule 223
4.1.3 Parameter der Sulfattranslationsmodule 227
4.1.4 Umsetzung des Stoffmengenbilanzmodells TS Spremberg im Sulfatprognosemodell 228

4.2 Güte des Mengenmodells 229

4.2.1 Anpassungsgüte des stochastischen meteorologischen Modells 229
4.2.2 Güte der Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells NAM-EGMO 231
4.2.3 Güte der Übereinstimmung der Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln 232
4.2.4 Verifizierung des WBalMo Spree/Schwarze Elster 232
4.2.5 Zusammenfassung zur Güte des Mengenmodells 248

4.3 Güte des Sulfatprognosemodells 249

4.3.1 Güte des Sulfatprognosemodells für den IST-Zustand 249
4.3.2 Berechnung von 3 Szenarien 262

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen 267

5.1 Zusammenfassung 267
5.2 Auswertung des „Nullszenarios“ („Worst-Case-Szenario“/ Szenario 5) 268
5.3 Schlussfolgerungen 273
5.4 Schlussbemerkung 275

Quellenverzeichnis 276

ANHANG 279

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Erweiterte Systemstruktur zur Steuerung des Sulfateintrags aus dem Schlabendorfer See....23
Abbildung 2: Steuerung der Überleitung in den Dahme-Umflutkanal....26
Abbildung 3: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Überblick....37
Abbildung 4: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfateintragsmodul SE....38
Abbildung 5: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfattranslationsmodul ST....39
Abbildung 6: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Kalibrierung eines ST....39
Abbildung 7: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfatsteuerungsmodul SS....40
Abbildung 8: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Räumliche Definition der Sulfatmodule....41
Abbildung 9: Übersicht über die Frachtbilanzierung im Sulfatprognosemodell, Bilanzbereich Südraum....44
Abbildung 10: Jahresgang der Sulfatkonzentration der Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Lohsa II(Auswertung der Messstellen F1.141 und OBF21110 im Zeitraum 2002-07/2016, Darstellung ab 2008)....47
Abbildung 11: Jahresgang der Sulfatkonzentration der Kleinen Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Burghammer (Auswertung der Messstelle F1.091 im Zeitraum 2002-07/2016, Darstellung ab 2008)....47
Abbildung 12: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Kringelsdorf (06/2008 bis 05/2016)....49
Abbildung 13: Test auf Korrelation von Abfluss und Konzentration im Ablauf der GWBA Kringelsdorf....49
Abbildung 14: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Kringelsdorf mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose....50
Abbildung 15: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Kringelsdorf mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz....50
Abbildung 16: Gegenüberstellung der Messwerte 2013 - 2015 zu Entnahme und Einleitung des KW Boxberg aus bzw. in den Schwarzen Schöps mit den Prognoseansätzen....51
Abbildung 17: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Tzschelln (06/2008 bis 05/2016)....52
Abbildung 18: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Tzschelln mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose....53
Abbildung 19: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Tzschelln mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz....53
Abbildung 20: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe (06/2008 bis 05/2016)....54
Abbildung 21: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose....55
Abbildung 22: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz....55
Abbildung 23: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf des KW Schwarze Pumpe (07/2004 bis 12/2015)....56
Abbildung 24: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf des KW Schwarze Pumpe mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose....57

Abbildung 25: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf des KW Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz 57
Abbildung 26: Monatsmittelwerte der Ableitmengen aus den SB Bärwalde und WSS Lohsa II 58
Abbildung 27: Monatsmittelwerte des Sulfataustrags aus den SB Bärwalde und WSS Lohsa II 59
Abbildung 28: Entwicklung von Wasserstand und Sulfatkonzentration im Speicherbecken Bärwalde (ab 2003) 60
Abbildung 29: Prinzipskizze der Hysterese-Funktionen für den Speicher Burghammer (links) und für den Speicher Lohsa II (rechts) [IWB, 2014a] 63
Abbildung 30: Umsetzung der Hysterese-Funktionen im Sulfatprognosemodell 65
Abbildung 31: Verifizierung des Gesamtvolumens im Speicher Lohsa II 67
Abbildung 32: Verifizierung des Gesamtvolumens im Speicher Burghammer 67
Abbildung 33: Beispiel zur Anpassung der Grundwasserfunktionen in einem Bilanzbereich des Speichers Lohsa II 68
Abbildung 34: Beispiel zur Anpassung der Grundwasserfunktionen in einem Bilanzbereich des Speichers Burghammer 68
Abbildung 35: Wasserstandsganglinie sowie Grund- und Oberflächenwasserbilanz des Speichers Lohsa II ab 1998 (nach LMBV [2013], entnommen aus IWB [2014a]) 69
Abbildung 36: Grund- und Oberflächenwasservolumenströme des Stoffbilanzmodells für den Speicher Lohsa II ab 2008 69
Abbildung 37: Wasserstandsganglinie sowie Grund- und Oberflächenwasserbilanz des Speichers Burghammer ab 2008 (nach LMBV [2013], entnommen aus IWB [2014a]) 70
Abbildung 38: Grund- und Oberflächenwasservolumenströme des Stoffbilanzmodells für den Speicher Burghammer ab 2008 70
Abbildung 39: Berechnete und gemessene Sulfatkonzentrationen in den Speichern Lohsa II und Burghammer 71
Abbildung 40: Berechnete Sulfatfrachten für den Speicher Burghammer 71
Abbildung 41: Übersichtskarte zu den diffusen Sulfateinträgen im Südraum (aus IWB [2016], angepasst) 74
Abbildung 42: Prognostizierte Jahressummen der diffusen Sulfateinträge im Abstrom der Speicher Bärwalde, Lohsa II und Burghammer sowie im Spreeabschnitt zwischen Spreewitz und der Talsperre Spremberg für die Jahre 2016 bis 2100, gegliedert jeweils nach den Abstrombereichen (aus IWB [2016]) 75
Abbildung 43: Sulfatkonzentrationen der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum 76
Abbildung 44: Zutrittsmengen der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum 76
Abbildung 45: Sulfatfrachten der der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum 77
Abbildung 46: Für die Frachtbilanzierung berücksichtigte Einleitungen und Entnahmen am Pegel Boxberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 78
Abbildung 47: Berechnete Sulfatfrachten am Pegel Boxberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 79
Abbildung 48: Berechnete Sulfatkonzentrationen im Schwarzen Schöps im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 79
Abbildung 49: Berechneter und gemessener Abfluss in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 80
Abbildung 50: Berechnete Sulfatfrachten in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 81
Abbildung 51: Berechnete und gemessene Sulfatkonzentrationen in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 81
Abbildung 52: Berechnete und gemessene monatliche Abflüsse am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 82
Abbildung 53: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Sulfatfrachten am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 82
Abbildung 54: Berechnete und gemessene Konzentrationen am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 83

Abbildung 55: Berechnete und gemessene monatliche Abflüsse am Pegel Spremberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 84
Abbildung 56: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Abflüsse am Pegel Spremberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 84
Abbildung 57: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Sulfatfrachten am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 85
Abbildung 58: Berechnete und gemessene Konzentrationen am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 85
Abbildung 59: Übersicht über die Frachtbilanzierung im Sulfatprognosemodell, Bilanzbereich Spreegebiet bis Spreewald und Nordraum 86
Abbildung 60: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss für die verlegte Tranitz (ab 2008) 87
Abbildung 61: Prüfung des Zusammenhangs zwischen Abfluss und Konzentration sowie Ableitung des Modellansatzes zur Sulfatkonzentration für die verlegte Tranitz 88
Abbildung 62: Plausibilisierung des Modellansatzes zum Sulfateintrag der verlegten Tranitz in die Spree anhand der Gegenüberstellung mit der aus der monatlichen Stichtagsmessung abgeleiteten Sulfatfracht 88
Abbildung 63: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen am Pegel Merzdorf 1/ Hammergraben (ab 2008) 90
Abbildung 64: Abschätzung des Grundwasserzuflusses am Pegel Fehrow/ Malxe 90
Abbildung 65: Bisherige Bilanzierung der GWRA Jänschwalde 92
Abbildung 66: Aktualisierte Bilanzierung der GWRA Jänschwalde (kursiv: neue Modellobjekte oder Änderungen ihrer Lage, ihres Bedarf bzw. Einleitung) 93
Abbildung 67: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen im Ablauf der GWRA Jänschwalde (07/2004 bis 12/2015) 94
Abbildung 68: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWRA Jänschwalde mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose 95
Abbildung 69: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWRA Jänschwalde mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2012 - 2015 sowie dem Prognoseansatz 95
Abbildung 70: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen im Ablauf des KW Jänschwalde (07/2004 bis 12/2015) 96
Abbildung 71: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf des KW Jänschwalde mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose 97
Abbildung 72: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf des KW Jänschwalde mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2012 - 2015 sowie dem Prognoseansatz 97
Abbildung 73: Verifizierung der Sulfatbilanzierung am Pegel Fehrow/ Malxe anhand der Sulfatfrachten 98
Abbildung 74: Verifizierung der Sulfatbilanzierung am Pegel Fehrow/ Malxe anhand der Sulfatkonzentrationen 98
Abbildung 75: Übersicht der Sulfateintragsmodule im linksseitigen Nordraum 99
Abbildung 76: Ausleitungen von der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern (Vetschauer Mühlenfließ) und in das Neue Buchholzer Fließ (Greifenhainer Fließ) sowie Sulfatkonzentration der Ausleitungen (LMBV, 2016) 101
Abbildung 77: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 20.120) und Wasserstand (monatlich) – Greifenhainer (Altdöberner) See 103
Abbildung 78: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 20.210 und 20.220) und Wasserstand (14tägig) – Gräbendorfer See 104
Abbildung 79: Vergleich der Abflüsse am Priorgraben (Pegel Cottbus-Madlow) und dem Greifenhainer Fließ (Pegel Müschen, Paulicks Mühle) 105
Abbildung 80: Vergleich der Sulfatkonzentrationen in der Spree (SP_0060), dem Priorgraben (PRIGR_0020, PRIGR_0030) und dem Greifenhainer Fließ (GRHFL_0040) 106
Abbildung 81: Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen ohne abflussabhängige Reduzierung 108

Abbildung 82: Vergleich der berechneten und simulierten Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen 109
Abbildung 83: Vergleich der gemessenen und simulierten Sulfatkonzentrationen am EQ Pegel Müschen 109
Abbildung 84: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, VEMFL_0030), Abfluss am Pegel Vetschau (synchrone Tageswerte) und Ausleitung der GWRA Rainitza in das EZG Vetschauer Mühlenfließ 112
Abbildung 85: Vergleich der berechneten und simulierten Sulfatkonzentrationen am Pegel Vetschau für das Teil-SE Diffuse Sulfatquellen im EZG 112
Abbildung 86: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ 113
Abbildung 87: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ 114
Abbildung 88: Abfluss an der Messstelle GMF07 / Göritzer Mühlenfließ, reduziert um die bedarfsweise Überleitung aus dem Oberlauf der Kleptna 115
Abbildung 89: Beziehung zwischen Abfluss an der Messstelle GMF07 / Göritzer Mühlenfließ, reduziert um die bedarfsweise Überleitung aus dem Oberlauf der Kleptna und der Sulfatkonzentration an der Messstelle GMF07 116
Abbildung 90: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Göritz Nr. 95 / Göritzer Mühlenfließ (näherungsweise wurde die Messstelle GMF07 verwendet) 117
Abbildung 91: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Göritz Nr. 95 / Göritzer Mühlenfließ (näherungsweise wurde die Messstelle GMF07 verwendet) 117
Abbildung 92: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.140) und Wasserstand (wöchentlich) – Drehnaer See 119
Abbildung 93: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.120) und Wasserstand (wöchentlich) – Schönfelder See 120
Abbildung 94: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.101) und Wasserstand (wöchentlich) – Bischdorfer See 121
Abbildung 95: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht am EQ Pegel Boblitz 123
Abbildung 96: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration am EQ Pegel Boblitz 123
Abbildung 97: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte,10.133) und Wasserstand (Tageswerte) – Lichtenauer See 125
Abbildung 98: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Lichtenauer See (10.133) und Messstelle 10.005 / Beuchower Westgraben und Messstelle 10.114 / Lichtenauer Graben 126
Abbildung 99: Ausleitungen vom Lichtenauer See in den Beuchower Westgraben und Lichtenauer Graben (abgeleitete Monatsmittelwerte aus Monatsmengen des LMBV 01.08.2016) 127
Abbildung 100: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.143) und Wasserstand (wöchentlich) – Schlabendorfer See 129
Abbildung 101: Ausleitungsmengen aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) (LMBV, 2015) 129
Abbildung 102: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht am EQ Pegel Ragow 2 und für die Messstelle WU10 132
Abbildung 103: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration am EQ Pegel Ragow 2 und für die Messstelle WU10 132
Abbildung 104: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle SGL20 / Bornsdorfer Kohlegraben 134
Abbildung 105: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle SGL20 / Bornsdorfer Kohlegraben 134
Abbildung 106: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B80 / Berste (Weißacker Moor) 135
Abbildung 107: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B80 / Berste (Weißacker Moor) 136
Abbildung 108: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B71 / Berste (Niedermoor südl. Horstteich) 137

Abbildung 109: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B71 / Berste (Niedermoor südl. Horstteich) 137
Abbildung 110: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle BE_0050 (bei Treppendorf und Pegel Treppendorf (58 443.0) / Berste 139
Abbildung 111: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle BE_0050 (bei Treppendorf und Pegel Treppendorf (58 443.0) / Berste 139
Abbildung 112: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Treppendorf / Berste 140
Abbildung 113: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Treppendorf / Berste 140
Abbildung 114: Übersicht über die Frachtbilanzierung in der Unteren Spree 141
Abbildung 115: Ermittlung der Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf 142
Abbildung 116: Übersicht Einzugsgebiet Löcknitz 143
Abbildung 117: Sulfatkonzentration an der Messstelle RÜG_0010 und Abfluss am Pegel Woltersdorf OP 144
Abbildung 118: Sulfatkonzentration an der Messstelle LÖ_0010 und Abfluss am Pegel Grünheide 2 145
Abbildung 119: Sulfatkonzentration an den Messstellen FLAFL_0010, LÖ_0010 und RÜG_0010 146
Abbildung 120: Sulfatkonzentration an der Messstelle FLAFL_0010 und Summe des Abflusses der Pegel Grünheide 2 und Woltersdorf OP 146
Abbildung 121: Beziehungen zwischen c und Q am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree) 147
Abbildung 122: Vergleich berechnete und simulierte Sulfatfracht am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree) 148
Abbildung 123: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses im Zulauf (oben) und im Ablauf (unten) der TS Spremberg 150
Abbildung 124: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodule TS Spremberg für verschiedene Durchflussbereiche und Anzahl von Parametern mit Wochenmittelwerten 152
Abbildung 125: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Wochenmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) mit der Variante 4 aus Tabelle 48 153
Abbildung 126: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für verschiedene Durchflussbereiche mit Monatsmittelwerte 155
Abbildung 127: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) mit der Variante 2 aus Tabelle 49 156
Abbildung 128: Gemessene und korrigierte Ganglinien des mittleren monatlichen Durchflusses am Pegel Bräsinchen für den Zeitraum von 2012-2016 158
Abbildung 129: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) 159
Abbildung 130: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Aussagequerschnitt Leibsch OP/Spree 161
Abbildung 131: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter) 162
Abbildung 132: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Nordumfluter/Malxe, Spree 162
Abbildung 133: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter) 163
Abbildung 134: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Nauendorf, Müschen Paulicks-Mühle/Greifenhainer Fließ 163
Abbildung 135: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ 164
Abbildung 136: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Göritz/Göritzer Mühlenfließ 164

Abbildung 137: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Boblitz/Dobra 165
Abbildung 138: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Beuchower Graben 165
Abbildung 139: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Ragow/Wudritz 166
Abbildung 140: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Treppendorf/Berste 166
Abbildung 141: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Eigendargebotes für den Emissionsquerschnitt Eigendargebot Spreewald 167
Abbildung 142: Aufsummierte Monatsmittelwerte der Sulfatfracht der Emissionsquerschnitte und des Aussagequerschnittes Leibsch OP 169
Abbildung 143: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Leibsch OP mit der Variante 2 aus Tabelle 51 171
Abbildung 144: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses in Beeskow 172
Abbildung 145: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 5 Parameter mit Wochenmittelwerten 175
Abbildung 146: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter mit Wochenmittelwerten 175
Abbildung 147: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Wochenmittelwerte für Beeskow mit der Variante 2 aus Tabelle 53 176
Abbildung 148: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche mit Monatsmittelwerten 178
Abbildung 149: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter und einem Durchflussbereich mit Monatsmittelwerten 178
Abbildung 150: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Beeskow mit der Variante 2 aus Tabelle 54 179
Abbildung 151: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration in Fürstenwalde und des Durchflusses in Große Tränke OP 181
Abbildung 152: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Schleuse Kersdorf/Oder Spree Kanal 182
Abbildung 153: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration in Fürstenwalde und des Durchflusses für das Eigendargebot 182
Abbildung 154: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche für Beeskow mit Wochenmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) 185
Abbildung 155: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Wochenmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) 186
Abbildung 156: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Wochenmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 2 aus Tabelle 56 187
Abbildung 157: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) 189
Abbildung 158: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 2 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) 190

Abbildung 159: Beobachtete und modellierte Sulfatfrachten (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 2 aus Tabelle 57 191
Abbildung 160: Sulfatkonzentrationen von Grundwassermessstellen im Bereich zwischen Beeskow und Große Tränke 192
Abbildung 161: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 2 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) der Variante 3 aus Tabelle 57 194
Abbildung 162: Beobachtete und modellierte Sulfatfrachten (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 3 aus Tabelle 57 195
Abbildung 163: Prinzip der Sulfatsteuerung 197
Abbildung 164: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal 198
Abbildung 165: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul Leibsch 199
Abbildung 166: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul WW Briesen 200
Abbildung 167: Umsetzung der Sulfatzustandsgrößen im WBalMo 201
Abbildung 168: Prinzip der Fragmentierung am Beispiel von Monatswerten aus Jahreswerten 202
Abbildung 169: Prinzip der Fragmentierung von Tageswerten aus Monatswerten mit METAF-M 204
Abbildung 170: Autokorrelationskoeffizient in Bezug auf den Mittelwert der Fragmente 205
Abbildung 171: Schwankungsbreite der Fragmente als Interdezilabstand in Bezug auf den Mittelwert der Fragmente 205
Abbildung 172: Fragmentierung der beobachteten täglichen Sulfatkonzentrationen für Beeskow/Spree 206
Abbildung 173: Anwendung des Moduls FRAGMENT der Software METAF-M 206
Abbildung 174: Anwendung des Moduls SIMULANT der Software METAF-M 207
Abbildung 175: Tägliche Sulfatkonzentrationen für Beeskow/Spree, erzeugt durch SIMULANT 207
Abbildung 176: Tägliche Sulfatkonzentrationen für die monatliche mittlere Sulfatkonzentration mit einem jährlichen Wiederkehrintervall von 10 Jahren der Unterschreitung für die Dauer von 1 Monat am Beispiel der Reihe 2010-2016 für Beeskow/Spree 209
Abbildung 177: Beispiel: Überschreitungswahrscheinlichkeit von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen 211
Abbildung 178: Registrierausdruck der Überschreitungswahrscheinlichkeit von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen 211
Abbildung 179: Registrierausdruck der Wahrscheinlichkeiten von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses 212
Abbildung 180: Beispiel: Monatliche Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T 213
Abbildung 181: Registrierausdruck der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T 213
Abbildung 182: Monatliche Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T (Bsp. T=5a) und Dauern 214
Abbildung 183: Registrierausdruck der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern 215
Abbildung 184: Beispiel: Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern 216
Abbildung 185: Registrierausdruck der Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern 216
Abbildung 186: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Reichwalde mit geänderten Systemelementen 218
Abbildung 187: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Nochten mit geänderten Systemelementen 219

Abbildung 188: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Welzow mit geänderten Systemelementen 220
Abbildung 189: Meteorologische Teilgebiete im Spree- und Schwarze Elster-Gebiet 230
Abbildung 190: Beobachtete und simulierte jährliche Niederschläge (oben) und potentielle Verdunstungen (unten) entlang von Spree und Schwarzer Elster (Angaben in mm) (Jahresmittel über die Gesamtreihe)....231
Abbildung 191: Gegenüberstellung der beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel Bautzen Weite Bleiche/ Spree 232
Abbildung 192: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Bautzen UP (oben), Lieske (Mitte) und Sprey (unten) 235
Abbildung 193: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Spreewitz (oben), Spremberg (Mitte) und Bräsinchen (unten) 236
Abbildung 194: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Leibsch UP (oben), Beeskow (Mitte) und Große Tränke UP (unten)....237
Abbildung 195: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Sproitz (oben) und Fehrow/Malxe (unten)....238
Abbildung 196: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Januar bis Juni des ersten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)....241
Abbildung 197: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Juli bis Dezember des ersten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)....242
Abbildung 198: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Januar bis Juni des zweiten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)....243
Abbildung 199: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Juli bis Dezember des zweiten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten) 244
Abbildung 200: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Bautzen 245
Abbildung 201: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Quitzdorf....246
Abbildung 202: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Spremberg....247
Abbildung 203: Beobachtete (FZL) und modellierte Flutungsmengen (WBalMo) von Bärwalde (BW), Dreiweibern (DW), Lohsa II (LoII) und Burghammer (Brgh) für die beiden Vergleichsjahre....248
Abbildung 204: Simulationsgüte Volumen SB Lohsa II (IST-Szenario) 250
Abbildung 205: Simulationsgüte Sulfatkonzentration SB Lohsa II (IST-Szenario) 251
Abbildung 206: Simulationsgüte Volumen SB Burghammer (IST-Szenario) 252
Abbildung 207: Simulationsgüte Sulfatkonzentration SB Burghammer (IST-Szenario) 253
Abbildung 208: Simulationsgüte Querschnitt Spremberg-Wilhelmsthal/Spree (IST-Szenario) 254
Abbildung 209: Simulationsgüte Querschnitt Bräsinchen/Spree (IST-Szenario)....255
Abbildung 210: Simulationsgüte Querschnitt Schmogrow/Spree (IST-Szenario)....256
Abbildung 211: Simulationsgüte Querschnitt Fehrow/Großes Fließ (IST-Szenario) 257
Abbildung 212: Simulationsgüte Querschnitt Leibsch OP/Spree (IST-Szenario) 258
Abbildung 213: Simulationsgüte Querschnitt Beeskow/Spree (IST-Szenario) 259
Abbildung 214: Simulationsgüte Querschnitt Beeskow/Spree bei Verwendung der gemessenen Überleitung in den Dahmeumflutkanal (IST-Szenario)....260
Abbildung 215: Simulationsgüte Querschnitt Große Tränke OP/Spree (IST-Szenario) 261
Abbildung 216: Simulationsgüte Querschnitt Große Tränke OP /Spree bei Verwendung der gemessenen Überleitung in den Dahmeumflutkanal (IST-Szenario)....261
Abbildung 217: Entwicklung der Sulfatkonzentration in den SB Burghammer und Lohsa II innerhalb von 6 Jahren bei Speicherbetrieb ohne Sulfatsteuerung 271

Abbildung 218: Inhaltsschwankungen im SB Lohsa II bei Speicherbetrieb ohne Sulfatsteuerung 272
Abbildung 219: Mögliche Abfolge weiterer Untersuchungen mit dem WBalMo SPM.....275

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Spreegebiet einschließlich Nebenflüsse 6
Tabelle 2: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften an der Spree und der Malschwitzer Kleinen Spree 7
Tabelle 3: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften an der Kleinen Spree 9
Tabelle 4: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften am Löbauer Wasser 10
Tabelle 5: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften am Weißen und Schwarzen Schöps sowie am Weigersdorfer Fließ 12
Tabelle 6: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Bereich der Malxe und Tranitz 14
Tabelle 7: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Bereich des Spreewaldes und des Nordraums 15
Tabelle 8: Berechnung der maximal möglichen NWA-Abgabe (Startwert 20 Mio. m³) 17
Tabelle 9: Nutzraum, Stauziel und nutzbarer Speicherinhalt des Speicherbeckens Lohsa II für die Abgaben für Nutzungen in Brandenburg und Berlin in Mio. m³ 18
Tabelle 10: Nutzraum, Stauziel und nutzbarer Speicherinhalt der Talsperre Spremberg für die Abgaben für Nutzungen in Brandenburg und Berlin in Mio. m³ 19
Tabelle 11: Beispieltabelle zur Datenverfügbarkeit (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 27
Tabelle 12: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 28
Tabelle 13: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 29
Tabelle 14: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Dobra (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 29
Tabelle 15: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Wudritz (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 30
Tabelle 16: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Berste (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 30
Tabelle 17: Datenverfügbarkeit für Nordraum rechtsseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 31
Tabelle 18: Datenverfügbarkeit für den Südraum linksseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 32
Tabelle 19: Datenverfügbarkeit für den Südraum rechtsseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 33
Tabelle 20: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation in der TS Spremberg (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 34
Tabelle 21: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Spreewald (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 34
Tabelle 22: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Briesen (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 35
Tabelle 23: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Rahnsdorf (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN) 36
Tabelle 24: Datenverfügbarkeit der Klimadaten im Spreegebiet (T – Temperatur in °C; P – Niederschlag in mm) 36
Tabelle 25: Übersicht zu den Sulfatkonzentrationen der Oberen Randbedingungen 46
Tabelle 26: Ermittlung des Jahresgangs der Sulfatkonzentration der Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Lohsa II sowie den Zuflusspegel Bärwalde, Auswertung der Messstellen F1.1141 u. OBF21110 im Zeitraum 2002-07/2016 46
Tabelle 27: Ermittlung des Jahresgangs der Sulfatkonzentration der Kleinen Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Burghammer

sowie den Zuflusspegel Burg 2, Auswertung der Messstelle F1.091 im Zeitraum 2002-07/2016 46
Tabelle 28: Sulfatkonzentrationen der Zuströme für das Stoffbilanzmodell Lohsa II 62
Tabelle 29: Sulfatkonzentrationen der Zuströme für das Stoffbilanzmodell Burghammer 62
Tabelle 30: Parameter der Hysterese-Funktionen für die Speicher Lohsa II und Burghammer 66
Tabelle 31: Übersicht zum Kenntnisstand der diffusen Sulfateinträge im Südraum und zur Ableitung der Modellansätze 73
Tabelle 32: Güte der Simulation – EQ Pegel Spremberg - Wilhelmsthal 86
Tabelle 33: GWRA Rainitza – Ausleitmengen und Sulfatkonzentration 101
Tabelle 34: GWBA Am Weinberg – Ausleitmengen und Sulfatkonzentration 102
Tabelle 35: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG Greifenhainer Fließ 103
Tabelle 36: Faktoren der abflussabhängigen Berechnung der Sulfatfracht am EQ Pegel Müschen 107
Tabelle 37: Güte der Simulation – EQ Pegel Müschen, Paulicks Mühle / Greifenhainer Fließ 110
Tabelle 38: Güte der Simulation – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ 114
Tabelle 39: Güte der Simulation – EQ Pegel Göritz Nr. 195 / Göritzer Mühlenfließ 118
Tabelle 40: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG der Dobra 119
Tabelle 41: Güte der Simulation – EQ Pegel Ragow 2 /Dobra 124
Tabelle 42: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Lichtenauer See 126
Tabelle 43: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG Wudritz 130
Tabelle 44: Güte der Simulation – EQ Pegel Ragow 2 / Wudritz 133
Tabelle 45: Güte der Simulation – EQ Pegel Treppendorf / Berste 141
Tabelle 46: Güte der Ermittlung der Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf 143
Tabelle 47: Güte der Simulation – EQ Löcknitz 148
Tabelle 48: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten 151
Tabelle 49: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerte 154
Tabelle 50: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für Monatsmittelwerte 156
Tabelle 51: Übersicht der Varianten und Darstellung des Gütemaßes NSE (auf Basis der Fracht) für Monatsmittelwerte 170
Tabelle 52: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul Spreewald für 2 Durchflussbereiche und 2 Parametern für die Impulsantworten mit Monatsmittelwerte der Variante 2 aus Tabelle 51 170
Tabelle 53: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls WW Briesen und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten 174
Tabelle 54: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls WW Briesen und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerte 177
Tabelle 55: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für Monatsmittelwerte 180
Tabelle 56: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls Rahnsdorf und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten 184
Tabelle 57: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls Rahnsdorf und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerten 188
Tabelle 58: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf der Variante 2 für Monatsmittelwerte 192
Tabelle 59: Parameter der Impulsantwort der Variante 3 für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für Monatsmittelwerte 196
Tabelle 60: Beispiel: Wahrscheinlichkeiten von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses 212

Tabelle 61: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Reichwalde 217
Tabelle 62: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Nochten....219
Tabelle 63: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Welzow 220
Tabelle 64: Übersicht der neuen bzw. geänderten Nutzer und Bilanzprofile zur Neißewasserüberleitung 221
Tabelle 65: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Speicher (Sp) 223
Tabelle 66: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule im Südraum (bis Pegel Spremberg-Wilhelmsthal)....224
Tabelle 67: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule von Spremberg-Wilhelmsthal/Spree bis zum Spreewald mit Tranitz, Malxe und Hammergraben 225
Tabelle 68: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule im Nordraum (Südzuflüsse Spreewald) 226
Tabelle 69: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule Untere Spree und Spreegebiet bis Rahnsdorf....227
Tabelle 70: Parameter der Impulsantworten der Sulfattranslationsmodule 228
Tabelle 71: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für Monatsmittelwerte 229
Tabelle 72: Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen für die ausgewählten Zeitabschnitte....234
Tabelle 73: Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP 239
Tabelle 74: Übersicht der berechneten Szenarien mit angenommenen Randbedingungen 263
Tabelle 75: Übersicht zum „Nullszenario“ („Worst-Case-Szenario“/ Szenario 5) mit angenommenen Randbedingungen 269

Verzeichnis ausgewählter Abkürzungen

AQ:	Aussagequerschnitt
c:	Sulfatkonzentration
EQ:	Emissionsquerschnitt
EZG:	Einzugsgebiet
F:	Fragmentierung von Monats- nach Tageswerten
FR:	Sulfatfracht
PrH:	Prognosehorizont
Q:	Abfluss
SE NL:	Sulfateintragsmodul Nordraum linksseitig der Spree
SE NR:	Sulfateintragsmodul Nordraum rechtsseitig der Spree
SE SL:	Sulfateintragsmodul Südraum linksseitig der Spree
SE SR:	Sulfateintragsmodul Südraum rechtsseitig der Spree
SE US:	Sulfateintragsmodul Untere Spree
SE:	Sulfateintragsmodul
SQ:	Steuerquerschnitt
SS LUP:	Sulfatsteuerungsmodul Leibsch UP
SS WT:	Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal
SS:	Sulfatsteuerungsmodul
ST RD:	Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf
ST SPW:	Sulfattranslationsmodul Spreewald
ST TSSPB:	Sulfattranslationsmodul Talsperre Spremberg
ST WWB:	Sulfattranslationsmodul Wasserwerk Briesen
ST:	Sulfattranslationsmodul

Veranlassung und Zielstellung

Das Landesamt für Bergbau, Geologie und Rohstoffe Brandenburg beauftragte mit Schreiben vom 13.05.2016 die DHI-WASY GmbH mit der Erstellung eines Sulfatprognosemodells Spree.

Zunächst waren die vorhandenen Daten und Gutachten zu sichten und die Grundstruktur des Sulfatprognosemodells zu entwickeln. Vorher war der Stand der Modellierung der gegenwärtig im WBalMo enthaltenen Bewirtschaftungsregeln von Nutzungen, TS, Speicher und Überleitungen abzugleichen. Darüber hinaus war das WBalMo Spree/Schwarze Elster um Maßnahmekonzepte zu erweitern.

Entsprechend der abgeleiteten Grundstruktur wurde die Entwicklung der Sulfateintragsmodule, Sulfattranslationsmodule und Sulfatsteuerungsmodule vorgenommen. Auf deren Basis wurden die Ergebnisindikatoren integriert und der Funktionsnachweis durchgeführt.

Daran schloss sich die Prüfung der Güte des Sulfatprognosemodells nach der Menge und Sulfat an.

1 WBalMo Spree/Schwarze Elster

1.1 Beschreibung des gegenwärtigen WBalMo Spree/Schwarze Elster

1.1.1 Zielstellung

Das Anliegen der Abstimmung zwischen dem AN und den Projektbeteiligten zum gegenwärtigen WBalMo Spree/Schwarze Elster war es, einen abgestimmten Startpunkt für die Weiterentwicklung zum Sulfatprognosemodell Spree und für die spätere Analyse der Modellgüte zu fixieren. Dementsprechend wurden die übergebenen Kommentare und Änderungsvorschläge eingearbeitet.

Über das gegenwärtige WBalMo hinausgehende zusätzliche Differenzierungen von Stand- und Fließgewässern (z. B. Bilanzprofile) werden zunächst für die Maßnahmekonzepte (vgl. Abschnitt 1.3) vorgenommen und später im Zuge der Entwicklung der Komponenten des Sulfatprognosemodells Spree weiter ergänzt. Erste Ausblicke zur Grundstruktur enthält Abschnitt 2.1.3.

Die Erarbeitung der nachfolgenden Beschreibung erfolgt als Ergänzung und vor dem Hintergrund der Bewirtschaftungsgrundsätze. Prinzipiell enthalten sie die wesentlichen Randbedingungen, welche im WBalMo Spree/Schwarze Elster detailliert umgesetzt sind. Daher sind im Folgenden insbesondere weitere untersetzende Randgrößen beschrieben, die im AK „Wassermenge“ zwischen den betroffenen Institutionen abgestimmt wurden.

1.1.2 Überblick und methodische Grundlagen des Modellkomplexes WBalMo Spree/Schwarze Elster

Der Modellkomplex WBalMo Spree/Schwarze Elster besteht aus folgenden Modellen:

- Bewirtschaftungsmodell WBalMo in der aktuell gültigen Basisvariante LM150902 unter Berücksichtigung der in der AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“ festgelegten Bewirtschaftungsgrundsätze in der Fassung vom 17. Juli 2014 mit den Wassernutzungen (in erster Linie dem Bedarf für die Wasserbereitstellung) und der Wasserbewirtschaftung (Talsperren und Speicher, Überleitungen, Vorrangregelungen usw.),
- stochastisches Simulationsmodell SIKOSIMO Spree/Schwarze Elster, z. Z. in der Version *2008* zur Generierung vieljähriger stochastischer Monatswertreihen verschiedener meteorologischer Größen,
- Niederschlag-Abfluss-Modell-(N-A-Modell)-Komplex NAM-EGMO, z. Z. Version 20141117, zur Modellierung vieljähriger Reihen des natürlichen Dargebotes aller Teilgebiete.

Dem Bewirtschaftungsmodell liegt die Software WBalMo zugrunde. Sie basiert auf der Methodik der detaillierten Oberflächenwasserbilanz und dient im Rahmen der langfristigen Bewirtschaftungsplanung zur Risikobewertung und Optimierung in Bezug auf Wasserbereitstellung für Wassernutzungen, Wasserversorgung aus Talsperren, Speichern und Überleitungen sowie veränderte hydrologische Rahmenbedingungen, z. B. durch Klimawandel. Nach dem Monte-Carlo-Prinzip arbeitend stellt es einem stochastisch generierten natürlichen Wasserdargebot die wasserwirtschaftlichen Nutzungen (Entnahmen, Einleitungen, Speicherbewirtschaftung, Überleitungen) im Zeittakt eines Monats gegenüber. Die Wasserbewirtschaftung kann dabei die Bereitstellung von Zuschusswasser aus Talsperren bzw. Speichern, ein Bedarfsmanagement wie auch die Priorität von Wassernutzungen - unabhängig von ihrer Lage - umfassen. Mit einer Vielzahl frei definierter Algorithmen werden weitere spezifische Bewirtschaftungsprozesse bis hin zum Feuchtgebietsmanagement oder der dynamischen Bedarfsberechnung realisiert. Im LM150902 sind a. 100 derartige Erweiterungen mit insgesamt fast 9000 Zeilen Programmcode wirksam.

Die Anwendung des Monte-Carlo-Prinzips basiert auf der weiter unten beschriebenen Nutzung mehrdimensionaler Autoregressionsmodelle mit Hilfe der Software SIKOSIMO. Den methodischen Nutzen für die Risikobewertung verdeutlichen die Datengrundlagen und Simulationsergebnisse für den Pegel Bautzen Weite Bleiche/Spree, ein weitgehend durch Nutzungen unbeeinflusster Pegel. Der kleinste Durchfluss der Niedrigwasserperiode 2003-2006 trat im August 2003 mit 0,79 m³/s auf. Der geringste jemals beobachtete Wert trat allerdings im September des Jahres 1991 mit 0,64 m³/s auf (Reihe der Monatswerte 1951-2006). Die sich aus der Simulation der unbeeinflussten Abflüsse ergebenden, korrespondierenden Minima im WBalMo betragen 0,3 m³/s im August und 0,26 m³/s im September. Diesen Werten ist ein Wiederkehrintervall von T=500 a zuzuordnen.

Eine Risikobewertung kann z. B. in Bezug auf Defizite der Wasserbereitstellung, Einhaltung von Mindestabflüssen oder Speicherfüllungen vorgenommen werden. Der diesbezügliche Vergleich verschiedener Nutzungs- oder Bewirtschaftungsvarianten erlaubt die Optimierung der betrachteten Planungsvorgaben.

Das N-A-Modell NAM-EGMO ist ein Mehrkomponentenmodell (Grundwasser, hypodermischer Abfluss, Niederungsflächen- und Direktabfluss) und wurde speziell für längere Zeitschritte (Woche, Monat) konzipiert. Meteorologische Eingangsgrößen sind Niederschlag und Potenzielle Verdunstung nach Turc-Ivanov. Das zu modellierende Einzugsgebiet wird in drei hydrografische Einheiten unterteilt: Grundwassernahe Flächen (Niederungsflächen), grundwasserferne Flächen (Hochflächen) und Wasserflächen. Für diese hydrografischen Einheiten gelten jeweils unterschiedliche vertikale Modellstrukturen mit ihren spezifischen Parametern. Außerdem können auch sogenannte Fremdabflussflächen berücksichtigt werden, die z. B. durch große Unterschiede zwischen ober- und unterirdischen Einzugsgebieten oder durch bergbaulich bedingte Grundwasserabsenkung entstehen. Die automatische Kalibrierung der Parameter wird

mit dem Softwaresystem PEST vorgenommen (siehe: PEST Model-Independent Parameter Estimation. User Manual: 5th Edition. Watermark Numerical Computing, 2010). Die zeitliche Veränderung der Parameter kann durch ihren entsprechend definierten Wechsel berücksichtigt werden, ohne dass die Simulation unterbrochen wird. Der Zeitpunkt der Wechsel der Parametersätze kann auch von Bewirtschaftungsereignissen z. B. der Flutung der Tagebaurestgewässer (TRG) abhängen. Eine entsprechende Rückkopplung vom WBalMo wird offline gewährleistet.

Das stochastische Modell SIKOSIMO, ein mehrdimensionales Autoregressionsmodell, dient zur Generierung vieljähriger synthetischer Monatswertreihen von meteorologischen (und ggfs. hydrologischen) Größen für den NAM-EGMO-Modellkomplex. Die Grundlage zur Generierung solcher Daten stellen langjährige, statistisch repräsentative Reihen der benötigten Prozessgrößen dar. Für letztere werden monatsweise die Transformations- und Simulationsparameter ermittelt. Dies erfolgt durch Anpassung transformierter Normalverteilungen an die empirischen Verteilungen der betreffenden Prozessgrößen und auf der Basis einer Auto- bzw. Kreuzkorrelationsanalyse. Die Generierung der synthetischen Reihen erfolgt mit den für jeden Monat bestimmten Modellparametern, die im Verlauf der Simulation zyklisch monatsweise gewechselt werden. Im Ergebnis werden meteorologische Zeitreihen erzeugt, die extremere Situationen nach Ausprägung und Dauer als bisher beobachtet enthalten. Die einzelnen Teile des Modellsystems sind hinsichtlich ihrer räumlichen und zeitlichen Struktur aufeinander abgestimmt. Das Modellgebiet des Bewirtschaftungsmodells WBalMo umfasst die Flussgebiete der Spree und Schwarzen Elster sowie der Lausitzer Neiße und Dahme. Die Spree wird von der Quelle bis zum Pegel Große Tränke UP mit folgenden Nebenflüssen betrachtet:

- Malschwitzer Kleine Spree,
- Kleine Spree,
- Löbauer Wasser,
- Schöps (mit Weißem Schöps von der Quelle bis zur Mündung in den Schwarzen Schöps und dem Schwarzen Schöps von der Quelle bis zur Mündung in die Spree einschließlich Weigersdorfer Fließ),
- Malxe (mit Tranitz, Schwarzem Graben und Hammergraben).

Das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster wird mit folgenden Nebenflüssen betrachtet:

- Pulsnitz
- Große Röder
- Klosterwasser
- Hoyerswerdaer Schwarzwasser
- Kleine Elster
- Schweinitzer Fließ

Auf Details wird hier verzichtet, da die Bewirtschaftung des Flussgebietes der Schwarzen Elster nur durch das Pumpwerk Spreewitz für das Sulfatprognosemodell Spree relevant ist.

Die Lausitzer Neiße erstreckt sich vom Pegel Zittau bis Steinbach (unterhalb Neiße-Überleitung). Die Dahme wird ab dem Pegel Märkisch Buchholz bis zum Pegel Neue Mühle betrachtet.

Das Bewirtschaftungsmodell berücksichtigt folgende Verbindungen bzw. Überleitungen:

- Die Entnahme von Neißewasser erfolgt in der Nähe der Ortschaft Steinbach und wird über eine Rohrleitung in den Neugraben und von dort in den Weißen Schöps übergeleitet.
- Die Flussgebiete der Spree und Schwarzen Elster sind über das Pumpwerk Spreewitz miteinander verbunden. Das Wasser gelangt über das Pumpwerk in den

Oberen Landgraben und kann zur Flutung von Tagebaurestgewässern (TRG) verwendet werden.
- Über den Dahme-Umflut-Kanal (DUK) sind die Flussgebiete der Spree und der Dahme verbunden. Aus der Spree oberhalb des Pegels Leibsch UP wird Wasser in die Dahme bei Prieros übergeleitet.
- Der Oder-Spree-Kanal (OSK) ist mit der Spree verknüpft: Über das Pumpwerk Neuhaus wird Wasser aus der Spree für die Scheitelhaltung des OSK bereitgestellt. Über die Schleuse Kersdorf mündet der OSK in die Spree. Über die Schleuse Wernsdorf zweigt der OSK wieder von der Spree oberhalb des Pegels Große Tränke UP ab.

Im Modellgebiet des Bewirtschaftungsmodells WBalMo sind eine Reihe von Talsperren und Speichern enthalten. Im Spreegebiet sind dies die Talsperren Bautzen und Quitzdorf, der Speicher Lohsa I, die Talsperre Spremberg sowie die Bergbauspeicher SB Bärwalde, das SB Cottbus und das System WSS Lohsa II. Im Schwarze-Elster-Gebiet sind die Speicher Knappenrode, die Talsperren Radeburg und Nauleis, das SB Niemtsch sowie der Bergbauspeicher Restlochkette berücksichtigt.

Zur Bewirtschaftung werden im Modellgebiet etwa 230 Nutzungen berücksichtigt. Im Einzelnen sind das:

- Entnahmen durch Industrie, Gewerbenutzer, Tagebaurestgewässer (ca. 110 Nutzungen):
  - Wasserwerke,
  - Brauchwasser für Kraftwerke,
  - Industrie,
  - Teichwirtschaften,
  - Landwirtschaftliche Beregnung,
  - Flutungswasser.

- Einleitungen (ca. 30 Nutzungen):
  - Sümpfungswasser,
  - Kläranlagen,
  - Ausleitungen aus Tagebaurestgewässern.

- Sonstige Nutzungen (ca. 65):
  - ökologische Mindestdurchflüsse,
  - nutzungsbedingte Mindestdurchflüsse,
  - Überleitungen.

- Nicht bewirtschaftete Einflüsse (ca. 25 Nutzungen):
  - Versickerung,
  - Grundwasserneubildung.

Details zur Rangfolgeregelung dieser Nutzungen enthält der Anhang B, Rangliste der Wasserbewirtschaftung im WBalMo LM150902_04.

Das Bewirtschaftungsmodell WBalMo wird in der Regel jährlich vor allem zur Berücksichtigung des Sanierungsfortschrittes fortgeschrieben, in Form von jeweils aktualisierten Basisvarianten. In der aktuell gültigen Basisvariante LM150902 aus dem Jahr 2015, welche der Modellbeschreibung zugrunde liegt, sind u. a. noch nicht die Veränderungen zur Bewirtschaftung der TS Spremberg enthalten, welche mit der aktuellen Fassung der Bewirtschaftungsgrundsätze vom 3. März 2016 festgelegt wurden. Diese werden in der nächsten, noch zu erstellenden Basisvariante enthalten sein.

Die Güte des Modellsystem WBalMo Spree/Schwarze Elster hängt von folgenden Faktoren ab:

- Güte der Transformation in die Normalverteilung und Auswahl physikalisch und numerisch geeigneter Regressoren für die Simulation der stochastischen meteorologischen Größen mit SIKOSIMO,
- Güte der Kalibrierung und Validität der Parameter des NAM-EGMO-Modellkomplexes,
- Konsistenz des WBalMo-Modells mit der geplanten bzw. tatsächlichen Wasserbewirtschaftung.

1.1.3 Einleitungen (Sümpfungswasser, Kläranlagen, Ausleitung TRG, Teichwirtschaften)

Neben dem Eigendargebot der Einzugsgebiete stehen für die Wassernutzungen Einleitungen zur Verfügung.

Hier sind vor allem zu nennen:

- Sümpfungswasser,
- Kläranlagen,
- Ausleitungen aus Tagebaurestgewässern.

Beim Sümpfungswasser handelt es sich um Grundwasserhebungen im Bereich der aktiven aber auch zum Teil bereits eingestellten Tagebaue. In bereits gefluteten Tagebaurestgewässern können aufgrund der Niederschlags-Verdunstungs-Grundwasser-Bilanz Entnahmen oder Ausleitungen in die Vorfluter notwendig sein, um Grenzwasserstände oder Zielwasserstände einzuhalten.

Den Einleitungen aus Teichwirtschaften steht eine entsprechende Entnahme gegenüber. Insofern tragen sie langfristig nicht zum Dargebot bei. Wegen des Zeitversatzes zwischen Bespannen und Ablassen der Teiche tritt jedoch monatsweise eine erhebliche Beeinflussung der Wasserverfügbarkeit ein. Deshalb wird in diesem Abschnitt eine mengenseitige Zusammenfassung in folgender Tabelle gegeben.

Tabelle 1: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Spreegebiet einschließlich Nebenflüsse

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	5,02	1,36
2	7,81	1,36
3	8,09	1,91
4	6,96	1,55
5	5,25	0,40
6	3,82	0,39
7	3,45	0,39
8	2,63	0,74
9	1,71	3,36
10	1,23	7,70
11	2,15	3,47
12	3,61	1,82
Maximum	8,09	7,70
Mittelwert	4,31	2,04

1.1.4 Wassernutzungen und Rangfolge der Wasserbereitstellung: Sachsen

Mit Bezug auf das Sulfatprognosemodell Spree werden nachfolgend nur die im Einzugsgebiet der Spree wirksamen Wassernutzungen beschrieben. Auf entsprechende Darstellungen zur Schwarzen Elster und zur Neiße wurde verzichtet.

1.1.4.1 Spree

Für die Wassernutzungen an der Hauptspree in Sachsen stehen das Dargebot der Spree und die TS Bautzen zur Verfügung. Über den Abschlag zur Malschwitzer Kleinen Spree steht dort neben dem Dargebot aus dem Eigeneinzugsgebiet ebenfalls die TS Bautzen zur Verfügung. Die Einleitung von Wasser in TRG und die Überleitung von Wasser über das Pumpwerk Spreewitz in das Schwarze Elster-Gebiet erfolgen nur dann, wenn Nutzungen auch in Brandenburg und Berlin nicht beeinträchtigt werden.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung in der Spree in Sachsen wie folgt:

a. über das Dargebot der Spree und die TS Bautzen gestützte Nutzungen:
- Verluste durch Versickerung,
- ökologischer Mindestabfluss unterhalb der TS Bautzen bis unterhalb der Pumpstation Spreewitz,
- Industrie, Teichwirtschaften, Bewässerungen,

- Flutung im Schwarze Elster-Gebiet.

b. über das Dargebot der Malschwitzer Kleinen Spree und die TS Bautzen gestützte Nutzungen:
- ökologischer Mindestabfluss in der Malschwitzer Kleinen Spree,
- Teichwirtschaften.

c. über das Dargebot der Spree gestützte Nutzungen:
- Wasserwerk Sdier
- Brauchwasser für das KW Boxberg
- Auffüllung der SB Bärwalde und Lohsa II.

d. über Sümpfungswasser gestützte Nutzungen:
- Flutung Hermannsdorfer See.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften an der Spree und der Malschwitzer Kleinen Spree.

Tabelle 2: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften an der Spree und der Malschwitzer Kleinen Spree

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	0,16	0,10
2	0,27	0,10
3	0,44	0,33
4	0,60	0,15
5	0,20	0,05
6	0,14	0,05
7	0,13	0,05
8	0,13	0,05
9	0,27	0,22
10	0,28	0,73
11	0,24	0,17
12	0,24	0,14
Maximum	0,60	0,73
Mittelwert	0,26	0,18

1.1.4.2 Kleine Spree

Für die Wassernutzungen an der Kleinen Spree stehen das Dargebot der Kleinen Spree sowie über das Verteilerwehr Spreewiese das Dargebot der Hauptspree und die TS Bautzen zur Verfügung. Über das Verteilerwehr Spreewiese kann nur dann Wasser übergeleitet werden, wenn dadurch nicht sächsische Nutzungen der Hauptspree

beeinträchtigt werden. Die Überleitung von Wasser über das Verteilerwehr Spreewiese in die Bergbauspeicher und TRG erfolgt nur dann, wenn Nutzungen auch in Brandenburg und Berlin nicht beeinträchtigt werden.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung in der Kleinen Spree wie folgt:

a. über das Verteilerwehr Spreewiese durch das Dargebot der Spree und die TS Bautzen gestützte Nutzungen:
   - Verluste durch Versickerung,
   - ökologischer Mindestabfluss oberhalb Zulauf Lohsa I,
   - Teichwirtschaften.

b. über das Verteilerwehr Spreewiese durch das Dargebot der Spree gestützte Nutzungen:
   - Einspeicherung der SB Lohsa I und des WSS Lohsa II (mit den SB Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer) sowie Spülung SB Burghammer,
   - Nachsorge und Flutung der TRG Scheibe und Spreetal-Nordost.

c. über das Verteilerwehr Spreewiese durch das Dargebot der Spree sowie Abgaben aus dem SB Lohsa I gestützte Nutzungen:
   - ökologische und nutzungsbedingte Mindestabflüsse (Ableiter SB Lohsa I, uh. Ableiter SB Lohsa I, uh. Einlaufbauwerk SB Burghammer, Pegel Burgneudorf).

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften der Kleinen Spree.

Tabelle 3: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften an der Kleinen Spree

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	0,90	0,20
2	1,59	0,20
3	1,77	0,27
4	1,27	0,39
5	0,89	0,04
6	0,66	0,03
7	0,56	0,04
8	0,54	0,03
9	0,48	0,80
10	0,45	3,08
11	0,93	0,75
12	0,92	0,22
Maximum	1,77	3,08
Mittelwert	0,91	0,50

1.1.4.3 Löbauer Wasser

Für die Wassernutzungen am Löbauer Wasser steht nur das Eigendargebot zur Verfügung.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung im Löbauer Wasser wie folgt:

a. über das Dargebot des Löbauer Wassers gestützte Nutzungen:
   - Industrie, Bewässerungen und Teichwirtschaften.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften am Löbauer Wasser.

Tabelle 4: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften am Löbauer Wasser

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	0,12	0,00
2	0,50	0,00
3	0,19	0,00
4	0,07	0,00
5	0,06	0,00
6	0,06	0,00
7	0,06	0,00
8	0,06	0,00
9	0,00	0,11
10	0,00	0,05
11	0,00	0,05
12	0,01	0,00
Maximum	0,50	0,11
Mittelwert	0,09	0,02

1.1.4.4 Weißer Schöps/ Schwarzer Schöps

Die nachfolgende Zuordnung der Gewässer erfolgt gemäß den digitalen Gewässereinzugsgebieten (LfULG Geodaten, Abruf am 13.07.2016). Andere behördliche Verzeichnisse können abweichen, wie dies z. B. für die Schöpse der Fall ist: Im Folgenden wird unter dem Schwarzen Schöps auch der Gewässerverlauf ab der Mündung des Weißen Schöps bis zur Einmündung in die Spree verstanden.

Für die Wassernutzungen am Weißen Schöps steht nur das Eigendargebot und für die Wassernutzungen am Schwarzen Schöps das Dargebot des Schwarzen Schöps und die TS Quitzdorf zur Verfügung. Darüber hinaus sind die Einleitungen der GWRA Kringelsdorf für die Nutzungen relevant. Im Einzugsgebiet des Weigersdorfer Fließes (im Folgenden einschließlich des Schulenburgkanals) steht das Dargebot aus dem Eigeneinzugsgebiet und durch die Überleitung Dargebot aus der Spree und der TS Bautzen zur Verfügung, wenn Nutzungen auch in Brandenburg und Berlin nicht beeinträchtigt werden.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung im Weißen und Schwarzen Schöps in Sachsen wie folgt:

a. über das Dargebot des Weißen Schöps gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften.

b. über das Dargebot des Schwarzen Schöps gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften.

c. über das Dargebot des Weigersdorfer Fließes gestützte Nutzungen:
   - ökologischer Mindestabfluss im Weigersdorfer Fließ,
   - Teichwirtschaften.

d. über das Dargebot des Schwarzen Schöps und die TS Quitzdorf gestützte Nutzungen:
   - ökologischer Mindestabfluss im Schwarzen Schöps,
   - Teichwirtschaften.

e. über das Dargebot des Weißen und des Schwarzen Schöps und die TS Quitzdorf gestützte Nutzungen:
   - Versickerung im Schwarzen Schöps.

f. über das Dargebot des Weißen und des Schwarzen Schöps sowie des Weigersdorfer Fließes und die TS Quitzdorf gestützte Nutzungen:
   - Versickerung im Schwarzen Schöps,
   - ökologischer Mindestabfluss im Schwarzen Schöps.

g. über das Sümpfungswasser gestützte Nutzungen:
   - Kraftwerk Boxberg.

h. über das Dargebot der Spree und der TS Bautzen (Überleitung), wenn Nutzungen auch in Brandenburg und Berlin nicht beeinträchtigt werden sowie dem Dargebot des Weigersdorfer Fließes (einschließlich Schulenburgkanal) gestützte Nutzungen:
   - Zufluss Speicher Bärwalde.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften am Weißen und Schwarzen Schöps sowie am Weigersdorfer Fließ.

Tabelle 5: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften am Weißen und Schwarzen Schöps sowie am Weigersdorfer Fließ

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	2,00	0,06
2	2,52	0,06
3	2,45	0,28
4	1,37	0,31
5	0,98	0,01
6	0,88	0,01
7	0,72	0,00
8	0,58	0,21
9	0,57	0,88
10	0,51	1,90
11	0,87	0,69
12	0,94	0,06
Maximum	2,52	1,90
Mittelwert	1,20	0,37

1.1.5 Wassernutzungen und Rangfolge der Wasserbereitstellung: Brandenburg und Berlin

Details zur im Folgenden dargestellten Wasserbereitstellung aus den sächsischen Talsperren sind im Abschnitt 1.1.6.1 enthalten.

1.1.5.1 Spree bis Spreewald

Für die Wassernutzungen an der Hauptspree in Brandenburg bis zum Spreewald stehen das Dargebot der Spree, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II zur Verfügung, wenn Nutzungen unterhalb nicht beeinträchtigt werden.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung in der Spree in Brandenburg bis zum Spreewald wie folgt:

a. über das Dargebot der Spree, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II (wenn Nutzungen unterhalb nicht beeinträchtigt werden) gestützte Nutzungen:
   - Verluste durch Versickerung,
   - Bewässerungen, Ausleitungen in Gräben und Industrie,
   - ökologischer Mindestabfluss unterhalb der TS Spremberg bis zum Spreewald,
   - Sulfatverdünnung z.B. am Profil Wilhelmsthal.

1.1.5.2 Malxe

Für die Wassernutzungen an der Malxe und Tranitz stehen das Dargebot der Malxe und Tranitz, das Dargebot der Spree, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II zur Verfügung.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung im Einzugsgebiet der Malxe und Tranitz wie folgt:

a. über das Dargebot der Malxe und Tranitz, das Dargebot der Spree, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften und Speisung Grabensysteme,
   - Kraftwerk Jänschwalde.

b. über das Dargebot der Malxe und Tranitz gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften und Bewässerungen,
   - Verluste durch Versickerung.

c. über das Dargebot der Malxe und Tranitz und dem Dargebot der Spree gestützte Nutzungen:
   - Flutung.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften im Bereich der Malxe und Tranitz.

Tabelle 6: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Bereich der Malxe und Tranitz

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	1,75	0,90
2	2,44	0,90
3	2,64	0,94
4	3,05	0,70
5	2,62	0,30
6	1,68	0,30
7	1,68	0,30
8	1,03	0,45
9	0,09	1,05
10	0,00	1,65
11	0,10	1,51
12	1,40	1,30
Maximum	3,05	1,65
Mittelwert	1,54	0,86

1.1.5.3 Spreewald mit Nordraum

Für die Wassernutzungen im Spreewald stehen das Dargebot der Spree, der Südzuflüsse (Greifenhainer Fließ, Vetschauer Fließ, Dobra, Wudritz (Ottergraben) und Berste) sowie die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II zur Verfügung, wenn Nutzungen unterhalb nicht beeinträchtigt werden. Zusätzlich sind Bilanzüberschüsse aus den TRG der Südzuflüsse wirksam.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung im Spreewald sowie des Nordraums wie folgt:

a. über das Dargebot der Spree und der Südzuflüsse, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II (wenn Nutzungen unterhalb nicht beeinträchtigt werden) gestützte Nutzungen:
   - *nicht wirksam:* Mindestabflüsse für das Greifenhainer Fließ und Dobra (allerdings erfolgt aber gemäß Wasserrecht eine Mindestwasserstützung aus dem Gräbendorfer See, Ableiter OL Wüstenhain),
   - Verluste durch Versickerung,
   - Industrie.

über das Dargebot der Spree und der Südzuflüsse gestützte Nutzungen:
   - *nicht wirksam*: Flutung,
   - Nachsorge (allerdings erfolgt die Nachsorge ausschließlich mit Konditionierungsmaßnahmen).

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Umfang der Wassernutzungen durch die Teichwirtschaften im Bereich des Spreewaldes und des Nordraums.

Tabelle 7: Entnahme- und Rückleitungsmengen der Teichwirtschaften im Bereich des Spreewaldes und des Nordraums

Monat	Entnahmen [m³/s]	Einleitung [m³/s]
1	0,10	0,10
2	0,50	0,10
3	0,60	0,10
4	0,60	0,00
5	0,50	0,00
6	0,40	0,00
7	0,30	0,00
8	0,30	0,00
9	0,30	0,30
10	0,00	0,30
11	0,00	0,30
12	0,10	0,10
Maximum	0,60	0,30
Mittelwert	0,31	0,11

1.1.5.4 Spree uh. Leibsch

Für die Wassernutzungen der Spree unterhalb von Leibsch stehen das Dargebot des Spree, sowie die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II zur Verfügung.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung der Spree unterhalb von Leibsch bis Große Tränke wie folgt:

a. über das Dargebot der Spree, die TS Bautzen, Quitzdorf und Spremberg, die Speicher Lohsa I, Bärwalde und das WSS Lohsa II gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften, Bewässerungen,
   - Wasserwerk, Industrie,
   - Mindestwasserüberleitung zur Dahme,
   - Mindestabfluss in Leibsch.

b. über das Dargebot der Spree gestützte Nutzungen:
   - Speisung Scheitelwasserhaltung im Oder-Spree-Kanal,
   - Überleitung zur Dahme,
   - Mindestabfluss in Große Tränke (über den Mindestabfluss in Leibsch hinaus).

1.1.5.5 Dahme

Für die Wassernutzungen in der Dahme stehen das Dargebot des Dahme und die Überleitungen aus dem Dahme-Umflut-Kanal aus dem Dargebot der Spree zur Verfügung.

Im Einzelnen erfolgt die Bewirtschaftung an der Dahme wie folgt:

a. über das Dargebot der Dahme und den Überleitungen aus dem Dahme-Umflut-Kanal aus dem Dargebot der Spree gestützte Nutzungen:
   - Teichwirtschaften, Bewässerungen.

1.1.6 Wasserbereitstellung aus Talsperren, Speichern und Überleitungen

1.1.6.1 Talsperren Bautzen und Quitzdorf sowie der Speicher Lohsa I

Die Talsperren Bautzen und Quitzdorf liegen an der Spree bzw. am Schwarzen Schöps und der Speicher Lohsa I im Nebenschluss zur Kleinen Spree. Die Nutzräume weisen Volumina von 24,2 Mio. m³, 9,28 Mio. m³ und 2,8 Mio. m³ auf.

Die Talsperren stützen ganzjährig die sächsischen Nutzungen und wenn notwendig mit dem gesamten Nutzraum. Details hierzu enthält Abschnitt 1.1.4.

Brandenburgische und Berliner Nutzungen werden im Rahmen der vertraglich geregelten Niedrigwasseraufhöhung (NWA) gestützt. Dafür steht jährlich eine Vorhaltemenge von 16 Mio. m³ von Bautzen und 4 Mio. m³ von Quitzdorf zur Verfügung, wenn den Talsperren das entsprechende Wasser tatsächlich zur Verfügung steht. Die Stützung darf in den Monaten Mai bis September neben der NWA auch zur Sulfatverdünnung erfolgen (vgl. Abschnitt 1.1.5.1). Die Abgaben sind so geregelt, dass nur ein Teil der von der Vorhaltemenge verbliebenen NWA-Reserve verwendet werden darf. Diese NWA-Reserve wird aus der Vorhaltemenge abzüglich der tatsächlich erfolgten NWA-Abgaben ermittelt. Die monatlich zulässigen Anteile von dieser NWA-Reserve zeigt die folgende Tabelle 8.

Tabelle 8: Berechnung der maximal möglichen NWA-Abgabe (Startwert 20 Mio. m³)

Monat	Anteil an der verbliebenen NWA-Reserve zur Berechnung der maximal möglichen NWA-Abgabe
1	keine NWA-Abgabe
2	
3	
4	
5	10 %
6	25 %
7	50 %
8	100 %
9	100 %
10	keine NWA-Abgabe
11	
12	

Sollten die Talsperre Quitzdorf einmal nicht zur Stützung beitragen können, besteht die Möglichkeit, dass der Speicher Lohsa I bei verfügbaren Reserven und im Rahmen der maximal möglichen NWA-Abgabe einspringt.

Eine Ausnahme für die NWA-Abgaberegelung kann ab der Betriebsbereitschaft des WSS Lohsa II wirksam werden. In diesem Fall stehen die Talsperren Bautzen und Quitzdorf nicht für die Versorgung von Berlin und Brandenburg sondern zur Stützung der Flutung der ERLK zur Verfügung. Details enthält Abschnitt 1.1.7.1.

1.1.6.2 WSS Lohsa II und SB Bärwalde

Das Speicherbecken Bärwalde entwässert über einen Ableiter in den Schwarzen Schöps. Der Speicher wird aus dem Eigeneinzugsgebiet und durch Überleitungen aus der Spree gespeist und besitzt einen Nutzraum von 22,89 Mio. m³.

Das LM150902 berücksichtigt nicht den befristeten Umstand, dass bis zur Festlegung des Hochwasserschutzraumes für das Einzugsgebiet der Nutzraum auf 12,7 Mio. m³ reduziert ist. Es laufen allerdings Aktualisierungen in Hinblick darauf, dass mittelfristig bis 2022 eine eingeschränkte Bewirtschaftungslamelle von 123,0- 124,0 m NHN zur Verfügung steht. Dies wird übernommen.

Die Speicher Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer bilden ein Wasserspeichersystem (WSS), da alle drei Speicher miteinander verbunden sind und nur über den Ableiter Burghammer ausleiten können. Die Speicherbecken liegen im Nebenschluss der Kleinen Spree und der Spree und werden durch den Graben SB Dreiweibern, Lohsa II, Burghammer verbunden.

Das Speicherbecken Lohsa II besitzt dabei einen Nutzraum von 60,534 Mio. m³, Dreiweibern von 4,18 Mio. m³ und Burghammer von 5,54 Mio. m³.

Die Aufgaben des WSS Lohsa II und des SB Bärwalde bestehen in der Stützung brandenburgischer und Berliner Nutzungen. Hierfür wurden für den Speicher Lohsa II monatlich angepasste Stauziele definiert, um die Abgaben monatlich zu begrenzen (Tabelle 9). Die Spalte „Nutzbarer Speicherinhalt“ zeigt als Minimum das eher pessimistische Volumen, das zur Verfügung steht, wenn im Vormonat das Stauziel angefahren wurde (abgesenkt wurde). Das Maximum zeigt den eher hypothetischen Wert, der von einem vollen Speicher zu Beginn des Monats ausgeht.

Tabelle 9: Nutzraum, Stauziel und nutzbarer Speicherinhalt des Speicherbeckens Lohsa II für die Abgaben für Nutzungen in Brandenburg und Berlin in Mio. m³

Monat	Nutzraum-grenze	Absenkziel	Nutzbarer Speicher-inhalt
1	60,534	22,00	0,00 - 38,534
2	60,534	28,00	0,00 - 32,534
3	60,534	34,00	0,00 - 26,534
4	60,534	40,00	0,00 - 20,534
5	60,534	36,00	4,00 - 24,534
6	60,534	28,00	8,00 - 32,534
7	60,534	18,00	10,00 - 42,534
8	60,534	8,00	10,00 - 52,534
9	60,534	4,00	4,00 - 56,534
10	60,534	0,00	4,00 - 60,534
11	60,534	8,00	0,00 - 52,534
12	60,534	16,00	0,00 - 44,534

Die Hauptabgaben erfolgen in den Monaten Mai bis Oktober, wenn die größten Nutzungsdefizite zu erwarten sind. In den niederschlagsreichen Wintermonaten wird der Nutzraum vornehmlich wieder aufgefüllt.

Für die Speicher Dreiweibern und Burghammer steht für die Stützung brandenburgischer und Berliner Nutzungen der gesamte Nutzraum zur Verfügung.

Bei den Abgaben aus WSS Lohsa II und Bärwalde müssen die Kapazitäten der Ableiter eingehalten werden.

Details zu den Nutzungen enthält Abschnitt 1.1.5.

1.1.6.3 TS Spremberg

Die Talsperre Spremberg liegt an der Spree und besitzt ein Nutzraum von 20,8 Mio. m³.

Die Talsperre stützt Nutzungen in Brandenburg und Berlin. Dafür steht der in Tabelle 10 aufgeführte nutzbare Speicherinhalt zur Verfügung (Erläuterungen siehe Abschnitt 1.1.6.2). Die größten Abgaben können in den Sommermonaten getätigt werden, wenn die

größten Nutzungsdefizite zu erwarten sind. In den niederschlagsreichen Wintermonaten wird der Nutzraum vornehmlich wieder aufgefüllt.

Tabelle 10: Nutzraum, Stauziel und nutzbarer Speicherinhalt der Talsperre Spremberg für die Abgaben für Nutzungen in Brandenburg und Berlin in Mio. m³

Monat	Nutzraum-grenze	Absenkziel	Nutzbarer Speicher-inhalt
1	13,14	9,90	0,00 - 3,24
2	14,12	13,58	0,00 - 0,54
3	19,03	19,03	0,00 - 0,00
4	19,03	18,30	0,73
5	19,03	17,11	1,19 - 1,92
6	15,46	13,19	2,27 – 3,92
7	15,46	8,46	4,73 - 7,00
8	15,46	3,73	4,73 - 11,73
9	15,46	0,00	3,73 - 15,46
10	15,46	0,00	0,00 - 15,46
11	13,14	3,15	0,00 - 9,99
12	13,14	6,30	0,00 - 6,84

Details zu den Nutzungen in Brandenburg und Berlin enthält Abschnitt 1.1.5.

1.1.6.4 Überleitungen

Die Neißewasserüberleitung leitet Wasser aus der Neiße bei Steinbach in den Neugraben und von dort in den Weißen Schöps. Das übergeleitete Wasser wird genutzt, um die Flutung/Nachsorge der ERLK zu unterstützen, sofern die Randbedingungen für den verbleibenden Mindestabfluss in der Neiße entsprechend Planfeststellungsbeschluss eingehalten werden. Dafür wird es über das Pumpwerk Spreewitz aus dem Spreegebiet zur ERLK geleitet. Die Überleitungskapazität der Neißewasserüberleitung beträgt 2 m³/s, Verluste auf dem Fließweg werden über Versickerungswerte berücksichtigt.

Über das Pumpwerk Spreewitz kann das Spreewasser (auch Überleitungen aus der Neiße) in den Oberen Landgraben gehoben werden. Dort steht es zur Flutung und Nachsorge zur Verfügung. Die Überleitungskapazität des Pumpwerks Spreewitz beträgt 2,5 m³/s. Die Flutungsfreigabe ist bisher für Januar 2017 geplant.

Am Pegel Leibsch werden über den Dahme–Umflut-Kanal mindestens 0,5 m³/s aus der Spree abgeleitet.

Die Speisung des Oder Spree-Kanals kann über das Pumpwerk Neuhaus mit einer Kapazität von 2 m³/s erfolgen. Der Zustrom aus der Schleuse Kersdorf beträgt 0,5 m³/s. An der Schleuse Wernsdorf werden durch Spaltwasser mindestens 1,5 m³/s ausgeleitet.

Durchflussabhängig werden über eine entsprechende Beziehung wachsende Ableitungen realisiert.

1.1.7 Besondere Regeln und methodische Ansätze

1.1.7.1 Flutung

Die Flutung der TRG berücksichtigt neben der Flutung aus dem Oberflächenwasser auch den Grundwasserzustrom. Die entsprechenden Volumenströme wurden aus Ergebnissen von Grundwassermodellen abgeleitet. Für die Prognose des Abschlusses der Flutung wird daher neben dem Seevolumen auch das aufzufüllende Porendefizit berücksichtigt.

Die Niedrigwasseraufhöhung aus den TS Bautzen und Quitzdorf steht unter folgenden Bedingungen nicht für Brandenburg und Berlin, sondern für die Flutung der Restlochkette bis zur Kapazität des PW Spreewitz zur Verfügung:

- frühestens ab Betriebsbereitschaft des WSS Lohsa II
- bis 2018.

Dabei ist zu beachten, dass derzeit der Überleitungsbeginn des PW Spreewitz für den Januar 2017 vorgesehen ist.

Der Umfang der Abgaben aus den TS Bautzen und Quitzdorf erfolgt ganzjährig und setzt sich aus der Grundlast und einer zusätzlichen Abgabe zusammen. Die Grundlast beträgt den 24sten Teil der jährlichen Vorhaltemenge. Die zusätzliche Abgabe dient zum Ausgleich des verbleibenden Defizits. Sie wird so berechnet, dass jede Talsperre in relativ gleichem Umfang in Bezug auf die bis zum Beginn des wasserwirtschaftlichen Jahres verbleibende NWA-Reserve zum Ausgleich des verbleibenden Defizits beiträgt.

1.1.7.2 Eigendargebot der Tagebaurestgewässer nach Flutungsende

Tagebaurestgewässer bilden Strömungssenken in den Einzugsgebieten. Daher verändert sich die Entwässerung des oberirdischen Einzugsgebietes durch die Vorfluter im Vergleich zum vorbergbaulichen Zustand dauerhaft. Die TRG entwässern erst dann in die Vorflut, wenn sich aus der Bilanz mit Niederschlag und Verdunstung von der Seefläche ein Überschreiten des Wasserstandes am Auslaufbauwerk ergibt. Entsprechende Berechnungen erfolgen im WBalMo.

Die Größe der Eigeneinzugsgebiete der TRG wird aus den Prognosen für die Grundwasserströmung abgeleitet.

1.1.7.3 Grundwassereinfluss im WSS Lohsa II und SB Bärwalde

Bei der Ermittlung des verfügbaren Speicherinhalts des SB Burghammer und des SB Lohsa II wird die Bilanz aus Grundwasserzustrom und –abstrom berücksichtigt. Die dabei bestehende Abhängigkeit zum Wasserstand in den beiden SB wird über eine zweidimensionale Interpolation von Wertetripeln aus Wasserständen der SB Burghammer und Lohsa II und jeweiliger Grundwasserbilanz einbezogen. Die Wertetripel wurden aus Ergebnissen von Grundwassermodellen abgeleitet.

In gleicher Weise wird für das SB Bärwalde für Wertepaare aus Wasserstand und Grundwasserbilanz verfahren.

1.1.7.4 Spreewald

Der Einfluss des Spreewaldes auf die Veränderung des Durchflusses der Spree ist überwiegend auf die komplexe Bewirtschaftung der Staugürtel und auf den besonderen hydrologischen Charakter als Niederungsgebiet, hier insbesondere die Verdunstungsverluste, zurückzuführen. Ihre modellseitige Darstellung wird durch die Verknüpfung beider Prozesse über die Flurabstände besonders erschwert. Der Ansatz des WBalMo geht davon aus, dass die Summe beider Prozesse entscheidend durch:

- die Zuflüsse über die Hauptspree und die Malxe,
- den Umfang der Nebenflüsse der Spree südlich des Spreewaldes und
- die meteorologischen Bedingungen

gesteuert wird. Aus beobachteten Daten wurde ein entsprechender Zusammenhang zum Zwischengebietsbeitrag abgeleitet. Dieser wird im WBalMo genutzt, um aus den im Modell vorhandenen Daten zu den genannten Einflussgrößen den Zwischengebietsbeitrag zu ermitteln. Verdunstungsverluste werden dabei auf 8 m^3/s begrenzt.

1.2 Aktualisierung von Daten und Regeln

Im Rahmen der Rückäußerung zu der Beschreibung des gegenwärtigen WBalMo-Bewirtschaftungsmodells LM150902 (vorheriger Abschnitt 1.1) wurden nahezu alle Änderungen übernommen und insbesondere der Bezug zur Basisvariante hergestellt.

Darüber hinaus erfolgte am 13.06.2016 vom LfU die Bestätigung des aktuellen Standes der Mengendaten aus dem Land Brandenburg (Nutzungen, Bewirtschaftungsregeln etc.).

1.3 Erweiterung um Maßnahmekonzepte

1.3.1 Nordraum mit Oberspreewald

Beeinflussung des Sulfateintrags in die Wudritz aus dem Schlabendorfer See RL (14/15)

Zu den Vorhaben der LMBV gehört die Sulfatsteuerung bei Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (IWB, 2015a). Entsprechend den dort dargestellten Randbedingungen wird für den Schlabendorfer See ein Rückhalteraum angenommen. Zugleich war zu berücksichtigen, dass für die Sulfatsteuerung relevant ist, wie groß die seewasserstandsabhängigen Zuflüsse aus dem Eigeneinzugsgebiet, die Ausleitungsmöglichkeiten und –erfordernisse sowie die frachtfreien Bilanzgewinne bzw. -verluste aus Niederschlag und Verdunstung sein werden.

Damit sind folgende Randbedingungen zu implementieren:

- Seewasserstandsabhängige Zuflüsse aus dem Eigeneinzugsgebiet und entsprechende Variation der Exfiltration in den Lorenzgraben oberhalb und unterhalb des Sees,
- Niederschlags-Verdunstungs-Bilanz auf der Wasserfläche,
- Rückhalteraum des Schlabendorfer Sees,
- Durchflusskapazität der Wudritz,
- Mindestausleitmenge aus dem Schlabendorfer See,
- zusätzliche Kapazität zur Wasserableitung in die Hauptspree.

Die obengenannten Kapazitäten können für Szenariorechnungen verändert werden. Das gilt auch für das Sulfat-Immissionsziel am Steuerquerschnitt, z. B. Leibsch UP/Spree. Der Immissionszielwert wird eine Option des noch zu erstellenden Sulfatsteuerungsmoduls sein.

Die Umsetzung der Randbedingungen erfolgte in der WBalMo-Variante LM150902_04_SPM01a. Da die konkreten Parameter im Bearbeitungsabschnitt 2 noch zu quantifizieren sind oder der Definition durch den AG unterliegen, wurden ihre Werte so gewählt, dass keine Beeinflussung der vorherigen wasserwirtschaftlichen Verhältnisse erfolgt. Im Einzelnen wurden folgende Modellobjekte eingebaut, erweitert oder verändert:

- Variation der Gebietsanteile Lorenzgraben und Schlabendorfer See im Modul BPAnteile,
- Wasserstands-Flächen-Volumen-Beziehung des Schlabendorfer Sees im Modul WAV_TRGSpree,
- Speicher 16 (Schlabendorfer See) mit einem Nutzraum von 0 Mio. m³,
- Element zur Einspeicherung von Wasser im Schlabendorfer See AB 16.1,
- WBalMo plugin (DYN-Element) zur dynamischen Bestimmung der Einspeicherung,
- Durchflusskapazität der Wudritz unterhalb des Abgabeprofils Schlabendorfer See im universellen Modellparameter CN(9001) mit gegenwärtig 99 m³/s,
- Mindestausleitmenge aus dem Schlabendorfer See im Nutzerobjekt 218.51 auf 0 m³/s,
- Zusätzliche Kapazität zur Wasserableitung in die Hauptspree im Nutzerobjekt 218.52 auf 0 m³/s.

Die aufgeführten Modellobjekte zeigt nachfolgender Ausschnitt aus der Systemskizze des LM150902_04_SPM01a.

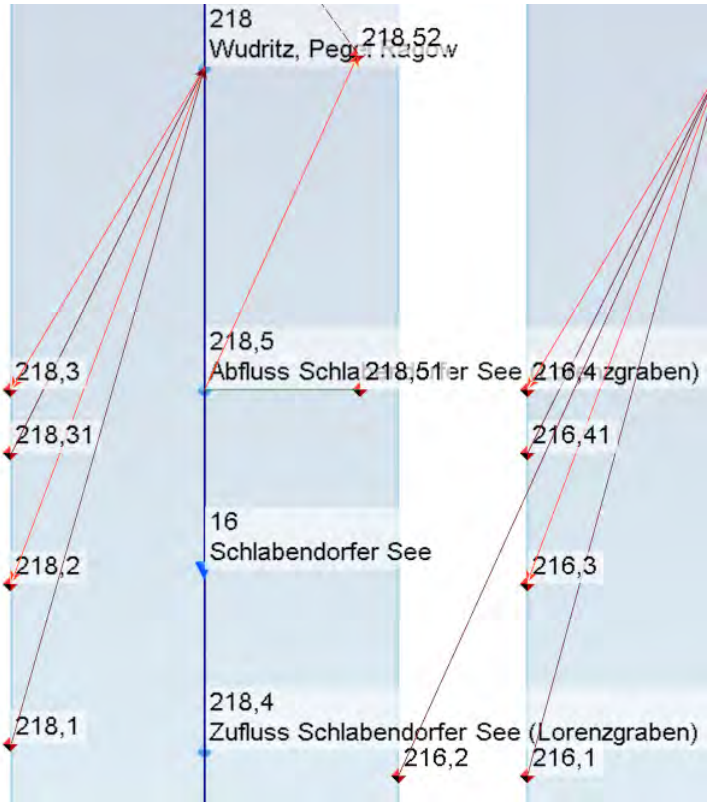


Abbildung 1: Erweiterte Systemstruktur zur Steuerung des Sulfateintrags aus dem Schlabendorfer See

Die Steuerung erfolgt in Bezug auf die Unterschreitung des für Szenariorechnungen variierbaren Immissionszielwertes an einem noch zu definierendem Steuerquerschnitt, z. B. Leibsch UP/Spree. Die Sulfatkonzentration an diesem Querschnitt ergibt sich als Ergebnis der oberhalb liegenden Sulfattranslationsmodule und Sulfatsteuerungsmodule.

Durch das Sulfatsteuerungsmodul wird bestimmen, welchen Umfang

- Ausleitung in die Wudritz,
- Wasserrückhalt im Schlabendorfer See,
- Zusätzliche Ausleitung in die Hauptspree

aus Sicht Sulfat haben sollten. Weitere Details enthält Abschnitt 2.4.2.

Beeinflussung der Sulfattranslation im Oberspreewald durch Steuerung der Wehrgruppe Schmogrow (mit Wehr VI und VII) und des Dükers Großes Fließ (Wehr V)

Die wasserwirtschaftlich bedeutsamen Entnahmen und Einleitungen im Oberspreewald erfolgen am Südumfluter und werden im WBalMo wie folgt berücksichtigt (die Beeinflussungen in den Südzuflüssen selbst werden hierzu nicht gezählt, vgl. auch Abschnitt 1.1.5.3):

- Bewässerung Südpolder (Speisung Grabensystem),
- Industrie Vetschau,
- *nicht wirksam:* Entnahme für Mindestabfluss Greifenhainer Fließ,
- *nicht wirksam:* Flutungsleitung für den Gräbendorfer See,
- *nicht wirksam:* Entnahme für Mindestabfluss Dobra,
- *nicht wirksam:* Flutungsleitung für Tagebauseen Seese/Schlabendorf,
- Industrie Lübbenau,
- Versickerung Südumfluter.

Im LM150902 wird davon ausgegangen, dass 40 % des Zuflusses der Spree zur Schmogrower Wehrgruppe in den Südumfluter abfließen. Unterhalb des Greifenhainer Fließes sollen 0,7 m³/s im Südumfluter verbleiben. Unterhalb der Dobra sollen 0,8 m³/s im Südumfluter verbleiben. Das Zwischendargebot bzw. die Verluste in der Niederung des Oberspreewaldes nördlich des Südumfluters werden in Bezug auf den Pegel Lübben Zusammenfluss/Spree kumulativ berücksichtigt.

Die genannten Entnahmen und Einleitungen sowie die Begrenzung der Wasserverfügbarkeit im Südumfluter umfassen damit die Modellierung der wasserwirtschaftlichen Verhältnisse im Oberspreewald. Eine explizite Aufteilung auf Hauptspree und Nordumfluter an der Schmogrower Wehrgruppe und weiter unterhalb der Abzweig des Südumfluters von der Hauptspree (an der Brücke Schmogrower Straße) sowie die Aufteilung des Großen Fließes/ Malxe am Düker Großes Fließ (Wehr V) auf Großes Fließ und einen Abschlag in den Nordumfluter wird nicht vorgenommen. Aus der Sicht der Mengenbilanzierung ist diese Vorgehensweise ausreichend. Eine explizite Aufteilung ist aus Gründen der Transparenz erstrebenswert, setzt jedoch nicht nur Steuerregeln für jede Aufteilung, sondern auch eine entsprechende Überarbeitung der Lage der Bilanzprofile, der darauf basierenden neuen Zuordnung der Entnahmen und Einleitungen sowie eine Aufteilung des Dargebotes im Oberspreewald auf diese Gewässerabschnitte. Die dazu erforderlichen modellseitigen und datenseitigen Voraussetzungen und Arbeiten sind nicht Bestandteil der hier zu erbringenden Leistungen.

Das Potential der beschriebenen Aufteilung vor dem Oberspreewald kann in erster Linie in der Änderung der Sulfattranslation (Verzögerung, Verlust), weniger in der Verringerung der kumulativen Fracht, die den Spreewald verlässt, bestehen, vgl. (IWB, 2015). Unter Beachtung der oben dargestellten Ansprüche der Modellierung der Wasserbewirtschaftung wird die Steuerungsmaßnahme daher dem Sulfattranslationsmodul für den Spreewald vorbehalten. Wenn sich diese Abhängigkeiten bei der Analyse der Zeitreihen der Sulfatkonzentration und der Durchflüsse bestätigen, wird die Aufteilung der Spree oberhalb des Spreewaldes zu den für Szenariobetrachtungen veränderbaren Parametern des Sulfattranslationsmoduls gehören.

1.3.2 Südraum

Spülung WSS Lohsa II

Zur Verbesserung der Ausleitbedingungen für das Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II kann eine Spülung des Speichers beitragen. Während für das SB Burghammer eine Spülung aus der Kleinen Spree im LM150902 bereits besteht, wurde in 2015 eine Spülung auch des SB Lohsa II aus der Spree ergänzt (LM150902_01a). Entsprechend den Vorgaben des Anwenderkreises erfolgen die Wasserentnahmen aus der Spree unter Beachtung folgender Randbedingungen (Anwenderkreis WBalMo, 25.03.2015):

- Einhaltung Mindestabfluss Bärwalde,
- keine Abgabe aus der TS Bautzen zur Verdünnung der Sulfatkonzentration am Profil Wilhelmsthal,
- vollständige Zurückführung der aus der Spree entnommenen Wassermenge über die Kleine Spree,
- Berücksichtigung der Kapazität des Ableiters,
- keine Beeinträchtigung der sonstigen Grundsätze zur Wasserverteilung (u. a. Verbundbewirtschaftung, vorrangige Auffüllung SB Bärwalde gegenüber Lohsa II).

Damit wird bei der Spülung kein Wasser im WSS Lohsa II eingespeichert. Abgaben aus der TS Bautzen im Rahmen der Niedrigwasseraufhöhung (NWA) können durch das

System durchgeleitet werden. Zugleich werden keine Abgaben aus der TS Bautzen über den Bedarf für Brandenburg hinaus zur Verfügung gestellt.

Die gegenwärtig implementierte Sulfatregel wird zeitlich befristet eingehalten, um darzustellen, dass die Spülung zu restriktionsfreien Ausleitbedingungen führen soll. Das Sulfateintragsmodul für das WSS Lohsa II wird dagegen in der Lage sein, festzustellen, ob eine Spülung erforderlich ist und diese als Spülungsbedarf an das Mengenbilanzierungsmodell übergeben, um die Verfügbarkeit zu prüfen. Daher würde die zeitliche Befristung der Spülung dann entfallen können.

Die Spülung kann bis zur Kapazität des Zu- und Ableiters erfolgen. Kapazitätsbeschränkungen explizit für die Spülung können bisher nicht berücksichtigt werden. Da sie Teil eines Planverfahrens sein könnten, wurde in Variante LM150902_04_SPM01c die Möglichkeit geschaffen, zusätzlich die maximale Spülungsmenge vorzugeben, bis zu der verfügbares Wasser entnommen werden darf.

1.3.3 Steuerungsoptionen für das Gesamtgebiet

Die bestehenden Verdünnungsregeln (SB Bärwalde, sächsische Talsperren und Neißeüberleitung), vgl. Bewirtschaftungsgrundsätze für das Spree/Schwarze Elster-Gebiet (AK WM, 02.09.2015), sind im LM150902 enthalten. Die dort implementierte Sulfatregel wird durch das Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal ersetzt werden, der durch die Sulfateintragsmodule mit den zu erwartenden Sulfatkonzentrationen aus den Eintragsgebieten versorgt wird.

In den bisherigen Untersuchungen wurde auch die Dahme-Überleitung genutzt, um einen Teil der Sulfatfracht erst hinter dem Müggelsee wirksam werden zu lassen. Im LM150902 ist die Steuerung der Überleitung fixiert (vgl. Abbildung 2):

- als Mindestüberleitung werden 0,5 m³/s gefordert,
- in Abhängigkeit vom Zufluss zum Verteilerwehr werden je nach Verfügbarkeit 10 % des Zuflusses, 47,75 % vermindert um 6,04 m³/s bzw. 20 % erhöht um 12 m³/s (jeweils einschließlich der Mindestüberleitung) in den Dahme-Umflut-Kanal abgeschlagen. Die korrespondierenden Schwellenwerte des Zuflusses sind 16 und 65 m³/s.
- die höchste Überleitung beträgt 30 m³/s.

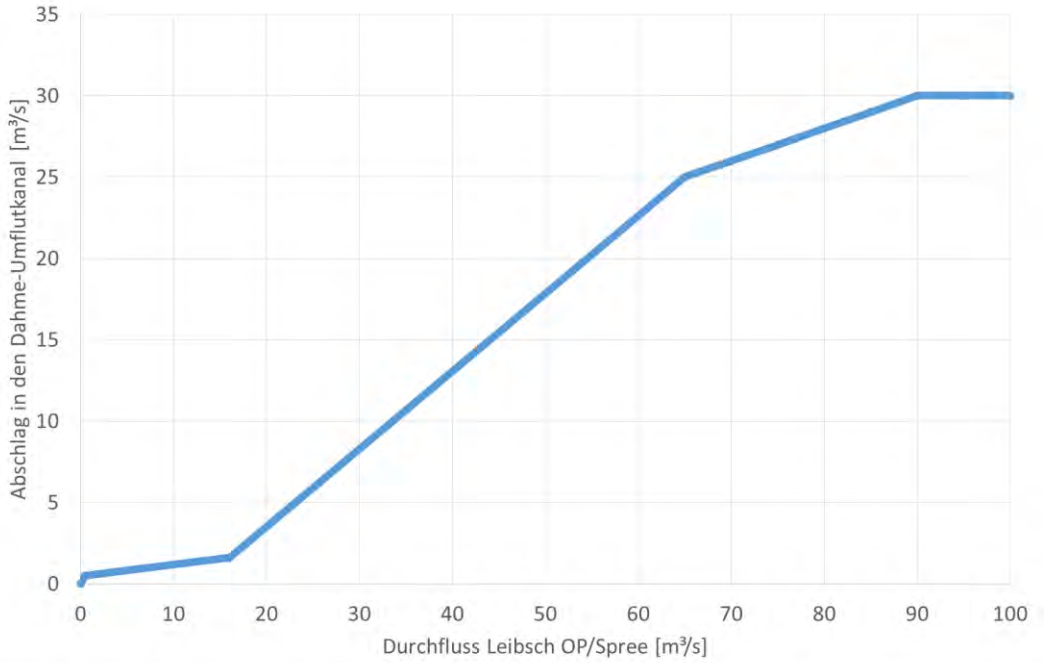


Abbildung 2: Steuerung der Überleitung in den Dahme-Umflutkanal

Diese Überleitungsmenge wird im Sulfatprognosemodell einer variablen Steuerung unterliegen können. Dies wird durch das Sulfatsteuerungsmodul quantifiziert. Dabei muss die Steuerung durch die wasserbaulichen Gegebenheiten beschränkt werden.

2 Sulfatprognosemodell

2.1 Analyse gemessener Sulfatdaten

2.1.1 Datenlage im Untersuchungsgebiet zum 10.06.2016

Das folgende Kapitel enthält eine Übersicht der Datenlage im Untersuchungsgebiet zum 10.06.2016. Dabei erfolgt, soweit es an dieser Stelle sinnvoll ist, bereits eine Unterteilung in Sulfateintragsmodule

(SE) und Sulfattranslationsmodule (ST).

Ziel ist es dabei, die vorhandenen Daten in deren Qualität und Quantität aufzuzeigen, die für die zu erstellenden Sulfateintrags- und Sulfattranslationsmodule zur Verfügung stehen. Diese Daten werden benötigt, um für die Sulfatprognose die Sulfateinträge im Spreegebiet darstellen und somit die Sulfateintrags- und Sulfattranslationsmodule aufbauen zu können. Darüber hinaus werden Daten für die Entwicklung der Sulfateinträge benötigt, um Prognosen für Aussagezeiträume vornehmen zu können.

Anhand der einzelnen Module wird gezeigt, welche Daten übergeben wurden.

Hierbei ist jeweils eine Tabelle nach folgenden Beispiel enthalten:

Tabelle 11: Beispieltabelle zur Datenverfügbarkeit (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognosedaten	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Einzugsgebietseintrag/ diffuser Eintrag	2004-2014 (T)	2004-2014 (T)	2020-2052 (M_W)	
Überleitung	2004-2014 (M)	2004-2014 (M)	2020-2052 (M_W)	
Pegel ***	2004-2014 (S)	2004-2014 (100 S)	2020-2052 (M_W)	
See	**W**	**c**	**W**	**c**
See A	2004-2014 (M)	2004-2014 (M)	2020-2052 (M_W)	2020-2052
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel	2004-2014 (T)	2004-2014 (T)	2020-2052 (M_W)	

In der Tabelle wird dabei zwischen Messdaten und Prognosedaten unterschieden. Die Messdaten werden für die Modellentwicklung und Bewertung der Modellgüte benötigt, wogegen die Prognosedaten für die Aussagezeiträume verwendet werden. Weiterhin wird unterschieden, ob es sich dabei um Durchflüsse (Q), um Sulfatkonzentrationen (c) oder um Wasserstände (W) handelt.

Die Zeitspannen geben an, für welchen Zeitraum Daten vorliegen und ob es sich um Tagesmittelwerte (T), Monatsmittelwerte (M), um Stichtagsmessungen oder um Berechnungsergebnisse (W) z. B. aus WBalMo (M_W) handelt. Bei den Daten der

Sulfatkonzentration ist auch die Anzahl der Datenerhebungen angegeben. Bei der Angabe von *** wird darauf hingewiesen, dass es sich mehrere Messstellen in der Nähe handelt.

2.1.1.1 Nordraum linksseitig

Im Nordraum linksseitig werden die Einzugsgebiete Greifenhainer Fließ, Vetschauer Mühlenfließ, Dobra, Wudritz und Berste unterschieden.

Greifenhainer Fließ

Die vorliegenden Daten für das Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes sind in Tabelle 12 enthalten.

Tabelle 12: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Einleitung in Priorgraben ***	2004-2016 (T)	2003-2016 (313 S)	2017-2052 (M_W)	
GWRA Am Weinberg / Tgb. Welzow Süd in Koselmühlenfließ	2004-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	2016-2026*1
GWRA Rainitza	2003-2016 (T)	2009-2016 (38 S)		
See	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**
Gräbendorfer See	2004-2016 (T)	2003-2016 (110 S)	2017-2052 (M_W)	
Altdöberner See (Greifenhain)	2004-2016 (T)	2003-2016 (58 S)	2017-2052 (M_W)	
Abflüsse	**Q [m³/s]**	**c [mg/l]**	**Q [m³/s]**	**c [mg/l]**
Zuleitung Gräbendorfer See aus Greifenhainer Fließ	2016-2016 (T)			
Ausleitung Gräbendorfer See	2015-2016 (T)	2015 (M)		
Buchholzer Fließ (Casel)		2006-2016 (105 S)		
Pegel Müschen/Paulicksmühle ***	2004-2016 (T)	2004-2016 (146 S)	2017-2052 (M_W)	
Naundorf		2003-2016 (170 S)		

*1 ein Prognosewerte für den Zeitraum

Vetschauer Mühlenfließ und Göritzer Mühlenfließ

Die vorliegenden Daten für das Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes sowie des Göritzer Mühlenfließes sind in Tabelle 13 enthalten.

Tabelle 13: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
GWRA Rainitza	2003-2016 (T)	2009-2016 (38 S)		
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Göritzer Mühlenfließ, bei Raddusch	2014-2016 (111 S)	2003-2016 (210 S)		
Vetschau ***	2004-2016 (T)	2003-2016 (1030 S)*1	2017-2052 (M_W)	

Dobra

Die vorliegenden Daten für das Einzugsgebiet der Dobra sind in Tabelle 14 enthalten.

Tabelle 14: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Dobra (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
See	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**
Bischdorfer See	2003-2016 (336 S)	2003-2016 (49 S)		
Drehnaer See	2003-2016 (403 S)	2003-2016 (91 S)		
Kittlitzer See	2003-2016 (331 S)	2003-2016 (31 S)		
Schönfelder See	2003-2016 (333 S)	2003-2016 (40 S)		
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Ausleitung Bischdorfer See (Kleptna)	2014-2016 (M) + 2010-2016 (44 S)	2010-2016 (65 S)		
Ausleitung Drehnaer See (Schrake)	2015-2016 (T) +2010-2016 (24 S)	2003-2016 (227 S)		
Ausleitung Schönfelder See	2014-2016 (21 S + T)			
Pegel Boblitz ***	2004-2016 (T)	2003-2016 (158 S)	2017-2052 (M_W)	

Wudritz

Die vorliegenden Daten für das Einzugsgebiet der Wudritz sind in Tabelle 15 enthalten.

Tabelle 15: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Wudritz (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
See	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**	**W [m NHN]**	**c [mg/l]**
Schlabendorfer See	2003-2016 (T)	2003-2016 (49 S)		
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Ausleitung Schlabendorfer See (ÜL Lichtenauer See)	2013-2016 (M)			
Ausleitung Schlabendorfer See (Lorenzgraben) ***	2013-2016 (M)	2003-2016 (949 S)		
Pegel Ragow und Wudritz ***	2004-2016 (T)	2003-2016 (867 S)	2017-2052 (M_W)	

Berste

Die vorliegenden Daten für das Einzugsgebiet der Berste sind in Tabelle 16 enthalten.

Tabelle 16: Datenverfügbarkeit für das Einzugsgebiet der Berste (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Weißacker Moor ***	2008-2015 (M)	2003-2016 (139 S)		
Bornsdorfer Kohlegraben ***	2010-2016 (95 S)	2010-2016 (96 S)		
Berste, Lübben, Str.-brücke B 115 ***		2003-2016 (184 S)		
Pegel Treppendorf ***	2004-2016 (T)	2003-2016 (171 S)	2017-2052 (M_W)	

2.1.1.2 Nordraum rechtsseitig

Die im Nordraum rechtsseitig vorhandenen Tagebaue Cottbus Nord und Jänschwalde stellen weitere bedeutende Sulfatquellen dar. Dabei sind aktuell die Sümpfungswässer der Tagebaue und in den kommenden Jahren die Tagebaurestgewässer Cottbuser Ostsee und Klinge zu nennen, die zum Teil in die Spree entwässern.

Die vorliegenden Daten für den Sulfateintrag im Nordraum rechtsseitig sind in Tabelle 17 enthalten.

Tabelle 17: Datenverfügbarkeit für Nordraum rechtsseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Cottbus, Sandower Brücke	2003-2016 (T)	2003-2016 (197 S)	2017-2052 (M_W)	
Saspow, uh Cottbus		2003-2016 (196 S)		
Speisung Hammergraben (Pegel Merzdorf 1)	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
Pegel Bräsinchen	2003-2016 (T)	2003-2016 (197 S) + 2010-2016 (T)	2017-2052 (M_W)	
ÜL aus TS Spremberg für RL Klinge	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
Tagebau Cottbus Nord in Tranitz	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
Tagebau Jänschwalde in die Malxe	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
GWRA Jänschwalde	2004-2015 (M)	2004-2015 (M)	2016-2026 (M)	2016-2026 (M)
Tranitz ***	2010-2016 (50 S)	2005-2016 (15 S)		
Verlegtes Tranitzfließ	2003-2015 (T)	2004-2016 (138 S)		
Hammergraben ***	2003-2016 (T)	2004-2016 (432 S)		
See	**W**	**c**	**W**	**c**
Klinger See	2003-2016 (331 S)	2003-2016 (49 S)		
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Schmogrow, Wehr 6	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
Pegel Schmogrow, Wehr 7	2003-2016 (T)			
Pegel Fehrow/Malxe	2003-2016 (T)	2003-2016 (182 S)	2017-2052 (M_W)	

2.1.1.3 Südraum linksseitig

Der Südraum linksseitig beinhaltet das Wasserspeichersystem Lohsa II sowie das Tagebaurestgewässer Scheibe und liegt im Bereich der Kleinen Spree. Das Wasserspeichersystem Lohsa II enthält die Speicher Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer. Diese sind untereinander verbunden und entwässern gemeinsam über den Ableiter Speicherbecken Burghammer in die Kleine Spree.

Die vorliegenden Daten für den Südraum linksseitig sind in Tabelle 18 enthalten.

Tabelle 18: Datenverfügbarkeit für den Südraum linksseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Überleitung in Kleine Spree (Spreewiese)	2003-2016 (T)	2006-2015 (133 S)*1	2017-2052 (M_W)	
Zuleiter Speicher Dreiweibern von Kl. Spree ***	2003-2016 (T)	2003-2016 (169 S)	2017-2052 (M_W)	
Zuleiter Speicher Lohsa II von Spree ***	2003-2016 (T)	2003-2015 (130 S)	2017-2052 (M_W)	
ÜL von SB Dreiweibern nach SB Lohsa II	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
ÜL SB Lohsa II zum SB Burghammer	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	
See	**W**	**c**	**W**	**c**
Dreiweibern	2003-2016 (M)		2017-2052 (M_W)	
Lohsa II	2003-2016 (M)	2005-2016 (81 S)	2017-2052 (M_W)	
Burghammer (Bernsteinsee)	2003-2016 (M	2003-2016 (98 S)	2017-2052 (M_W)	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Ausleitung SB Burghammer	2003-2016 (T)	2008-2016 (461 S)	2017-2052 (M_W)	
Ausleitung Scheibe	2008-2016 (T)	2008-2016 (117 S)		
Pegel Burg 2	2008-2016 (T)	2009-2015 (8 S)	2017-2052 (M_W)	
Pegel Burgneudorf ***	2008-2016 (T)	2003-2016 (179 S)	2017-2052 (M_W)	
Spreewitz ****	2012-2016 (38 S)	2009-2016 (268 S)		

*1 Abgabeprofil TS Bautzen

2.1.1.4 Südraum rechtsseitig

Der Südraum rechtsseitig beinhaltet das Speicherbecken Bärwalde sowie die Bereiche der Tagebaue Reichwalde und Nochten u. a. mit den GWRA Kringelsdorf und Tzschelln.

Die vorliegenden Daten für den Südraum rechtsseitig sind in Tabelle 19 enthalten.

Tabelle 19: Datenverfügbarkeit für den Südraum rechtsseitig (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Zufluss Bärwalde ***	2003-2016 (T)	2006-2015 (47 S)	2017-2052 (M_W)	
Zuleiter Speicher Bärwalde von Spree	2003-2016 (T)	2003-2015 (130 S)	2017-2052 (M_W)	
GWRA Kringelsdorf	2003-2016 (T)	2008-2016 (416 S)	2017-2052 (M_W)	2016-2026*1
GWRA Tzschelln	2003-2016 (T)	2008-2016 (409 S)	2017-2052 (M_W)	2016-2026*1
See	**W**	**c**	**W**	**c**
Bärwalde	2003-2016 (M)	2003-2016 (143 S)	2017-2052 (M_W)	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Ableiter SB Bärwalde	2003-2016 (T)	2008-2016 (163 S)	2017-2052 (M_W)	
Pegel Boxberg	2003-2016 (T)	2003-2015 (156 S)	2017-2052 (M_W)	

*1 ein Prognosewerte für den Zeitraum

2.1.1.5 Sulfattranslation TS Spremberg

Für die Ermittlung der Sulfattranslation in der TS Spremberg werden der Zufluss zur Talsperre sowie deren Abfluss sowie die dazugehörigen Sulfatkonzentrationen benötigt.

Die vorliegenden Daten für die Sulfattranslation in der Talsperre Spremberg sind in Tabelle 20 enthalten.

Tabelle 20: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation in der TS Spremberg (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Zulauf TS Spremberg (Pegel Spremberg, Spremberg-Wilhelmsthal)	2003-2016 (T)	2003-2015 (835 S) + 2010-2016 (T)	2017-2052 (Mw)	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Bräsinchen	2003-2016 (T)	2003-2016 (197 S) + 2012-2016 (T)	2017-2052 (Mw)	

*1 Gütemessung in Zerre

2.1.1.6 Sulfattranslation Spreewald

Für die Sulfattranslation Spreewald zwischen dem Ablauf der TS Spremberg (Pegel Bräsinchen) und dem Pegel Leibsch werden die Abflüsse und die dazugehörigen Sulfatkonzentrationen benötigt.

Die vorliegenden Daten für die Sulfattranslation Spreewald sind in Tabelle 21 enthalten.

Tabelle 21: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Spreewald (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Bräsinchen	2003-2016 (T)	2003-2016 (197 S) + 2012-2016 (T)	2017-2052 (Mw)	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Nordumfluter ***		2003-2016 (310 S)*1		
Südumfluter ***		2004-2016 (288 S)*1		
Lübben oh. Zusammenfluss ***		2003-2016 (259 S)*1		
Lübben Zusammenfluss	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	
Pegel Leibsch	2003-2016 (T)	2003-2016 (204 S)	2017-2052 (Mw)	

2.1.1.7 Sulfattranslation Briesen

Für die Sulfattranslation Briesen in der Spree zwischen den Pegeln Leibsch und Groß Tränke werden die Abflüsse und die dazugehörigen Sulfatkonzentrationen benötigt.

Die vorliegenden Daten für die Sulfattranslation Briesen sind in Tabelle 22 enthalten.

Tabelle 22: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Briesen (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Leibsch	2003-2016 (T)	2003-2016 (204 S)	2017-2052 (M_W)	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Alt Schadow		2005-2016 (154 S)		
Trebasch		2003-2016 (171 S)		
Beeskow	2003-2016 (T)	2003-2016 (188 S)	2017-2052 (M_W)	
Raßmannsdorf		2003-2016 (145 S)		
Neubrück		2003-2016 (176 S)		
uh. Dehmsee		2005-2016 (142 S)		
uh. Fürstenwalde		2003-2016 (180 S)		
Pegel Große Tränke	2003-2016 (T)		2017-2052 (M_W)	

2.1.1.8 Sulfattranslation Rahnsdorf

Für die Sulfattranslation Rahnsdorf in der Spree zwischen den Pegeln Große Tränke und Rahnsdorf werden die Abflüsse und die dazugehörigen Sulfatkonzentrationen benötigt.

Die vorliegenden Daten für die Sulfattranslation Rahnsdorf sind in Tabelle 23 enthalten.

Tabelle 23: Datenverfügbarkeit für die Sulfattranslation Rahnsdorf (Q – Abfluss in m³/s; c – Sulfatkonzentration in mg/l; W – Wasserstand in mNHN)

	Messdaten		Prognose	
Zuflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Große Tränke	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	
uh. Dehmsee		2005-2016 (142 S)	uh. Dehmsee	
uh. Fürstenwalde		2003-2016 (180 S)	uh. Fürstenwalde	
Abflüsse	**Q**	**c**	**Q**	**c**
Pegel Rahnsdorf	2003-2016 (T)	2003-2016 (T)		

2.1.1.9 Weitere Daten

Neben den Daten für Durchflüsse und Sulfatkonzentrationen sind Klimadaten von Bedeutung.

Die vorliegenden Klimadaten sind in Tabelle 24 enthalten.

Tabelle 24: Datenverfügbarkeit der Klimadaten im Spreegebiet (T – Temperatur in °C; P – Niederschlag in mm)

	Messdaten		Prognose	
Stationen	**T**	**P**	**T**	**P**
Cottbus	2003-2016 (T)	2003-2016 (T)	2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Görlitz	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Sproitz	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Bautzen	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Lohsa	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Bräsinchen	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Lindenberg	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)
Senftenberg	2003-2016 (T)		2017-2052 (Mw)	2017-2052 (Mw)

2.1.2 Weitere Aufbereitung und Übergabe von Datenanforderungen

Mit dem AG war zunächst abgestimmt, erst im Teilabschnitt 2 der Auftragsbearbeitung weiteren Datenbedarf gesammelt mitzuteilen (siehe Schreiben des LBGR vom 14. Juli 2016). Nach einer Systematisierung der übergebenen Daten (Abschnitt 2.1.1) und einer ersten Durchsicht der verfügbaren Gutachten wurden weitere Anforderungen aufbereitet.

Der Datenbedarf wurde so detailliert wie auf der Basis der verfügbaren Unterlagen möglich spezifiziert.

Datenanforderungen wurden an das LfU, das LfULG, die LMBV, die LTV, die Senatsverwaltung Berlin, Vattenfall und das Wasser und Schifffahrtsamt Berlin am 25.07.2016 gerichtet. Um eine Rückmeldung wurde zum 05. August 2016 gebeten. Mit Stand 11. August 2016 wurden keine negativen Rückmeldungen erhalten. Im Abschnitt 2.1.1 sowie Anhang A sind die erhaltenen Daten aufgeführt. In diesem Zusammenhang sei auch erwähnt, dass die LMBV die Teilnahme an einer Befahrung des Nordraumes ermöglichte.

Weitere Datenanforderungen können sich aus der weiteren Bearbeitung ergeben, z. B. zu Grundwasserzustrommengen und dazugehörigen Sulfatkonzentrationen. Diese werden möglichst zusammengefasst übergeben.

2.1.3 Ableitung der Grundstruktur des Sulfatprognosemodells Spree

Die Homogenisierung sowie die zeitliche und räumliche Analyse der übergebenen Zeitreihen hatten zum Ziel, die Grundstruktur des Sulfatprognosemodells Spree abzuleiten. Dazu wurden Gutachten herangezogen, die von der LMBV und Vattenfall bereitgestellt worden waren.

Im Folgenden werden zunächst kurz eine Übersicht über das Sulfatprognosemodell gegeben und anschließend die einzelnen Module diskutiert. Abschließend wird die räumliche Definition der Module des Sulfatprognosemodells aufgezeigt.

Die nachfolgende Abbildung zeigt das Grundprinzip der Funktion des Sulfatprognosemodells.

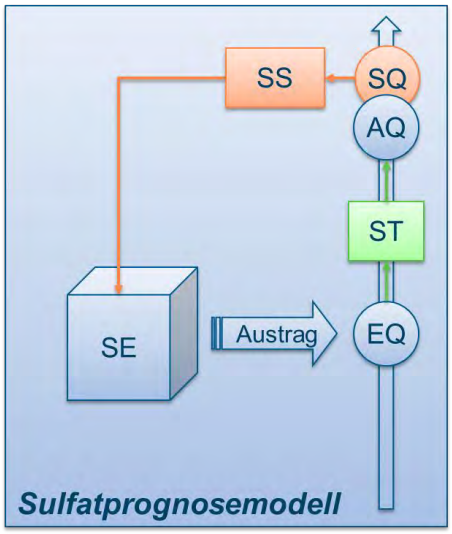


Abbildung 3: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Überblick

Durch das Sulfateintragsmodul SE werden die Sulfateinträge in ein Fließgewässer am Emissionsquerschnitt EQ quantifiziert. Durch einen Sulfattranslationsmodul ST wird das Sulfatsignal durch zeitliche Verzögerung und Verluste in den Fließ- und Standgewässern so verändert, dass die Summe der Emissionen am Aussagequerschnitt AQ wiedergegeben wird. Neben den Querschnitten Spremberg-Wilhelmsthal, Wasserwerk Briesen und Rahnsdorf können für bis zu zwei weitere Aussagequerschnitte Ergebnisse ermittelt werden (DHI-WASY, 2016). Entsprechende Festlegungen sind durch den AG noch zu treffen.

Ausgewählte Aussagequerschnitte sind als Steuerquerschnitte SQ vorgesehen. In Bezug auf einen solchen Steuerquerschnitt werden durch den Sulfatsteuerungsmodul SS Änderungen der Parameter die relevanten Sulfateintragsmodule so vorgenommen, dass nach Anwendung der zwischen den Emissionsquerschnitten und dem Steuerquerschnitt liegenden Sulfattranslationsmodule der Immissionszielwert eingehalten werden kann bzw. die Optionen für eine Angleichung an den Immissionszielwert ausgeschöpft sind.

Die Sulfateintragsmodule bilden daher das Zentrum des Sulfatprognosemodells. Abbildung 4 zeigt die Struktur des Sulfateintragsmoduls SE.

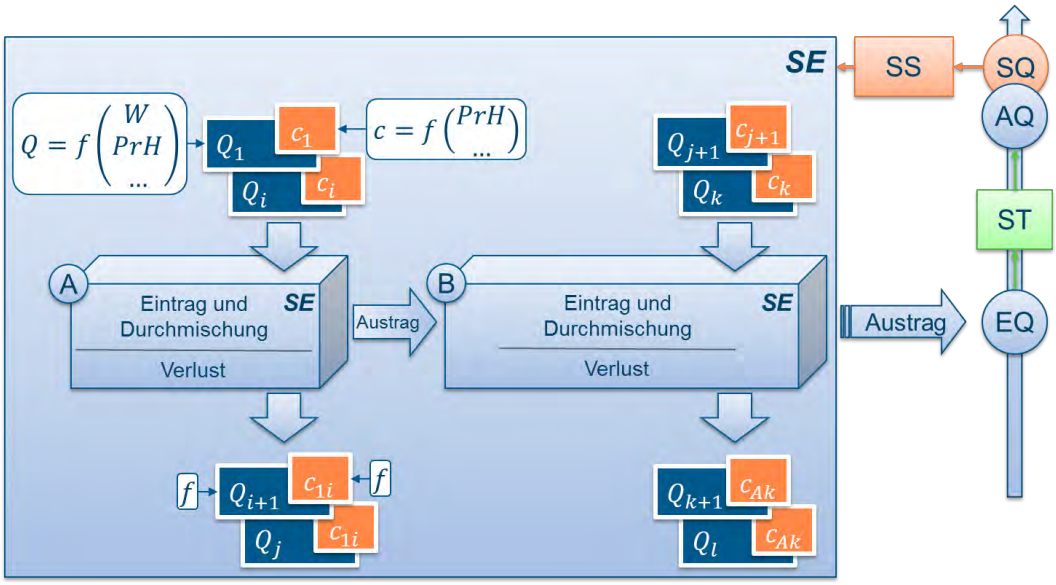


Abbildung 4: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfateintragsmodul SE

Ein oder mehrere Sulfateintragsmodule SE erfassen im Allgemeinen die dem Emissionsquerschnitt EQ vorgelagerten Fließ- oder Standgewässerkörper. In Einzelfällen von Punktquellen ohne signifikante Abhängigkeiten (abgesehen von veränderten Sulfatkonzentrationen für verschiedene Prognosehorizonte PrH), die also auch keine Steuerungsmöglichkeit aufweisen, besteht das Sulfateintragsmodul lediglich aus zwei Parametern, dem Volumenstrom Q und der Sulfatkonzentration c. In allen anderen Fällen sind funktionale Abhängigkeiten der Volumenströme oder der Sulfatkonzentration hinterlegt.

Diesbezügliche Steuervariablen müssen zur Laufzeit des WBalMo-Modells verfügbar sein oder gemacht werden. Bestehen Bezüge zu den meteorologischen oder hydrologischen sowie wasserwirtschaftlichen Situationen werden nach Möglichkeit einbezogen, wenn entsprechende Daten verfügbar sind. Die genannten Abhängigkeiten werden anhand der vorliegenden Zeitreihen ermittelt und verifiziert werden. In Bezug auf Verluste wird die Sulfatkonzentration nach Durchmischung angesetzt, wobei ein Verlust durch Verdunstung nur durch einen Volumenstrom ohne Sulfatfracht gekennzeichnet wird.

Der Sulfattranslationsmodul ST (Abbildung 5) sichert die Berücksichtigung der Verluste sowie der Dämpfung und Verzögerung des Sulfatsignals, z. B. zwischen Zu- und Ablauf der TS Spremberg oder den Spreewald. Kern des Sulfattranslationsmoduls sind Übertragungsfunktionen, vgl. Konzept der „Impulsantwort“ (Dyck, 1980), der Sulfatkonzentration in Bezug auf den aktuellen und folgende Zeitschritte, die für den betreffenden Spreeabschnitt die Prozesse von Verlust sowie der Dämpfung und Verzögerung des Sulfatsignals beschreiben.

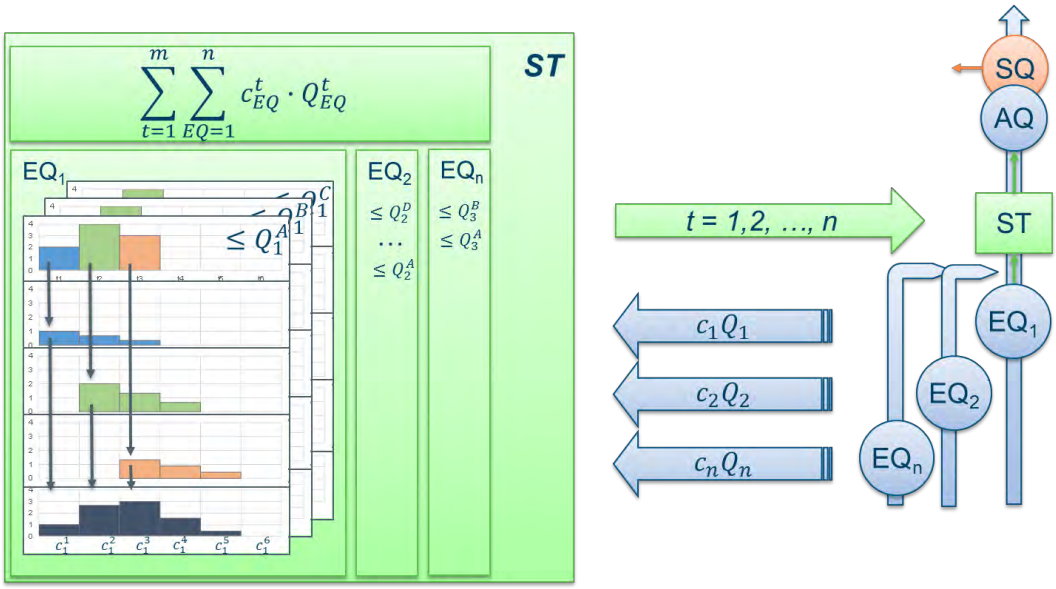


Abbildung 5: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfattranslationsmodul ST

Der Sulfattranslationsmodul enthält dabei für jeden Emissionsquerschnitt mehrere Übertragungsfunktionen, die für bestimmte Durchflussbereiche gültig sind. Im einfachsten Fall besteht die Übertragungsfunktion eines Emissionsquerschnitts aus einem eingliedrigen Polynom ersten Grades mit dem Koeffizient 1, dann würde lediglich eine Summation der Frachten vorgenommen.

Die Koeffizienten und Grenzen der Durchflussbereiche des Sulfattranslationsmoduls für einen Emissionsquerschnitt werden automatisiert ermittelt werden (Abbildung 6).

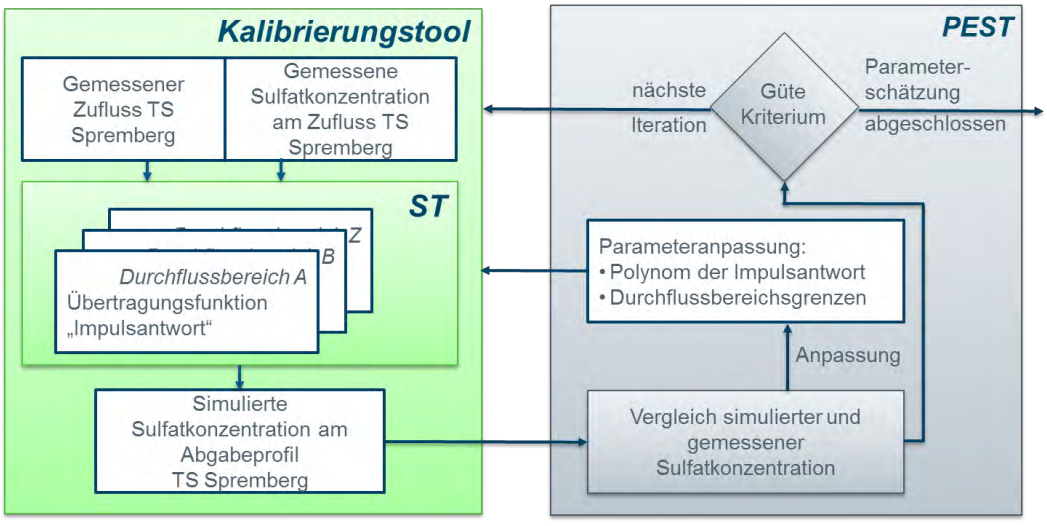


Abbildung 6: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Kalibrierung eines ST

Dazu wird der betreffende Teil des Sulfattranslationsmoduls in ein Kalibrierungstool eingebunden, das durch die Software PEST, vgl. (Watermark Numerical Computing, 2010), gesteuert wird. PEST ist eine international weit verbreitete Software zur numerischen Parameterermittlung und wird auch bei DHI-WASY eingesetzt, z. B. für die Kalibrierung der NAM-EGMO-Modelle (siehe Abschnitt 1.1.2). Grundlage für dieses Vorgehen sind entsprechende Zeitreihen der Sulfatkonzentration an den Emissionsquerschnitten und den Aussagequerschnitten.

Für Steuerquerschnitte SQ wird durch den Sulfatsteuerungsmodul SM die Sulfatkonzentration mit dem Immissionszielwert verglichen (Abbildung 7).

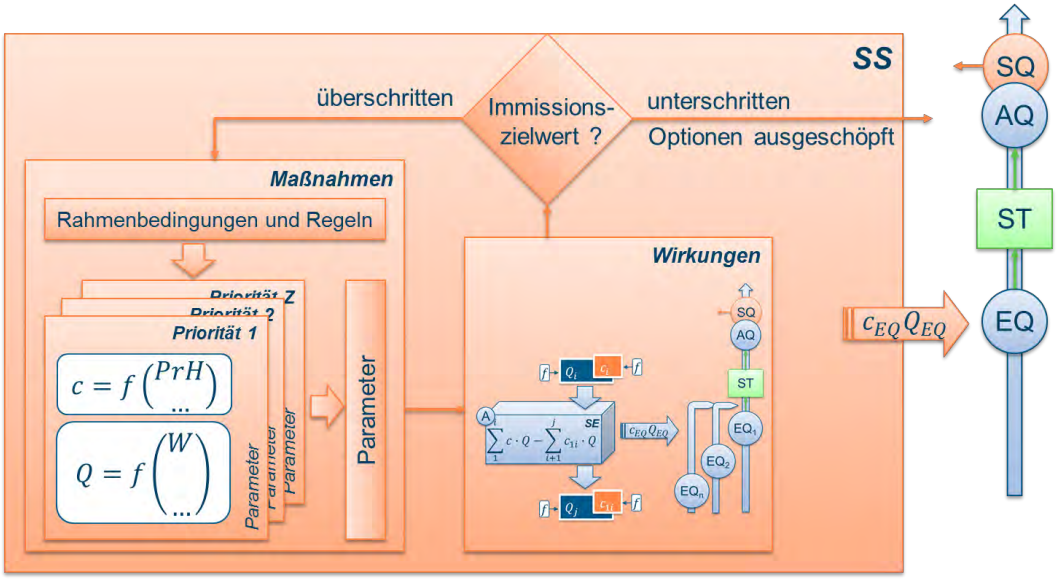


Abbildung 7: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Sulfatsteuerungsmodul SS

Im Fall der Überschreitung des Immissionszielwertes, wird durch Änderung der Parameter die Sulfateintragsmodule (funktionale Abhängigkeiten der Volumenströme und Sulfatkonzentrationen) versucht seine Unterschreitung zu erreichen. Unter Umständen kann dies aber nicht möglich sein, wenn alle Optionen der Sulfatsteuerung ausgeschöpft sind. Die Nutzung der verschiedenen Maßnahmen und deren Kombinationen werden nach festgelegten Rahmenbedingungen und Regeln vorgenommen. Um die Wirkung auf den Steuerquerschnitt zu prüfen, werden die Sulfateintragsmodule der betreffenden Emissionsquerschnitte und der Sulfattranslationsmodul des jeweiligen Aussagequerschnitts genutzt.

Für die Erstellung des Sulfatprognosemodells definieren die Herkunftsräume der Sulfatemissionen die zu entwickelnden Sulfateintragsmodule. Wenn für Aussagequerschnitte Dämpfung und Verlust des Sulfatsignals signifikant sind, werden diese Veränderungen durch Sulfattranslationsmodule wiedergespiegelt. Für Querschnitte mit relevanten Sulfatfrachten im Zusammenspiel mit signifikanten Möglichkeiten der Steuerung der Sulfatkonzentration sind Sulfatsteuerungsmodule vorzusehen. In folgender Abbildung 8 ist eine erste räumliche Definition der Module vorgenommen worden, die auf der Grundlage der weiteren Datenanalyse und Durchsicht der vorhandenen Gutachten Veränderungen erfahren kann.

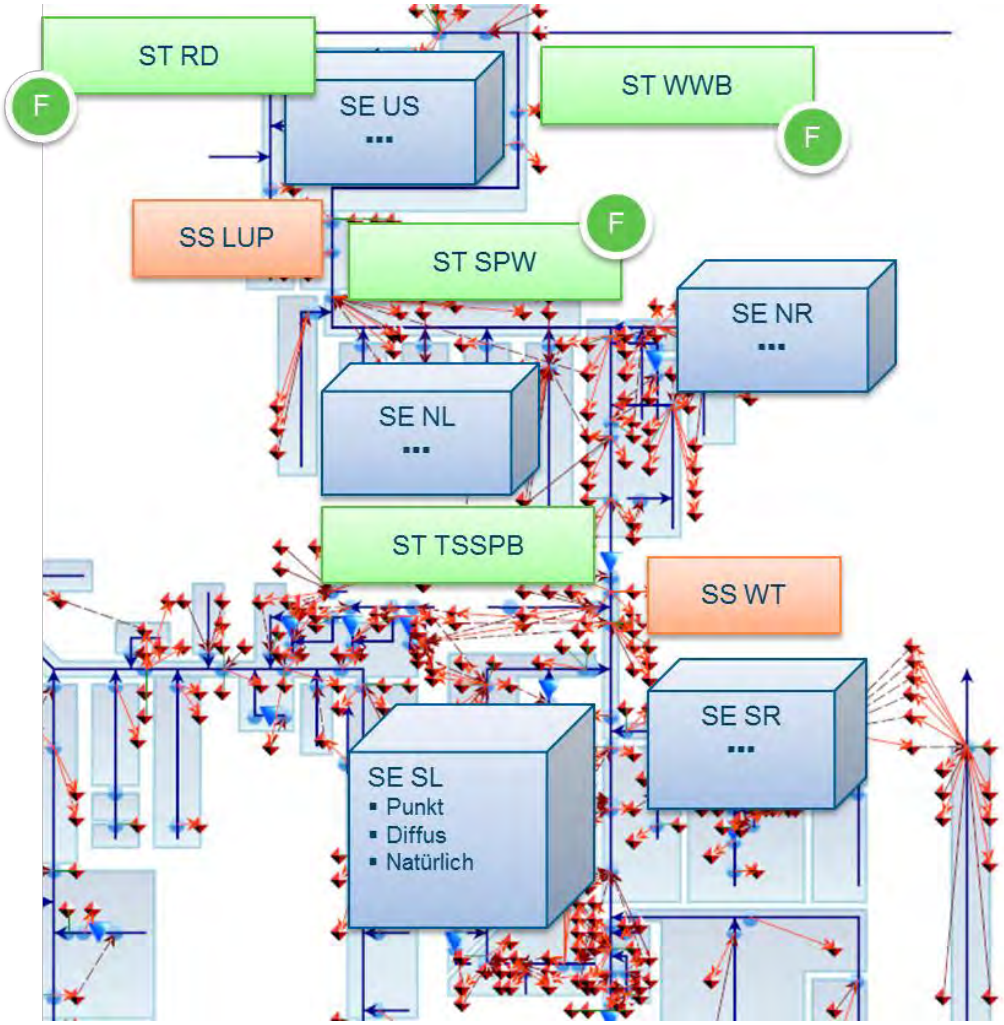


Abbildung 8: Grundstruktur des Sulfatprognosemodells: Räumliche Definition der Sulfatmodule

Die Sulfateintragsmodule SE umfassen:

- Südraum linksseitig der Spree (SE SL), mit dem WSS Lohsa II (einschließlich der Entwicklung der Sulfatkonzentration in den entstehenden Speicherbecken), den diffusen Zutritten in der Kleinen Spree und der Spree und den Einträgen aus der GWRA Schwarze Pumpe,
- Südraum rechtsseitig der Spree (SE SR), mit dem SB Bärwalde, dem Kraftwerk Boxberg, den GWRA Kringelsdorf und Tzschelln sowie der Neißeüberleitung,
- Nordraum linksseitig der Spree (SE NL), mit den Südzuflüssen zum Spreewald einschließlich der GWRA Am Weinberg,
- Nordraum rechtsseitig der Spree (SE NR), mit dem Kraftwerk und der GWRA Jänschwalde, dem Klinger See und dem Cottbuser Ostsee,
- Untere Spree (SE US), signifikante Sulfateinträge sind noch zu definieren.

Alle Sulfateintragsmodule werden bei entsprechender Signifikanz auch die natürliche Hintergrundbelastung mit Sulfat betrachten.

Sulfattranslationsmodule werden für folgende Abschnitte erstellt:

- TS Spremberg (ST TSSPB), zwischen Zu- und Ablauf,
- Spreewald (ST SPW), zwischen Bräsinchen/Spree und Leibsch UP/Spree,
- Untere Spree bis zum Entnahmequerschnitt des WW Briesen (ST WWB),
- Untere Spree bis zur Messstelle Rahnsdorf (ST RD).

Wenn die Abschlussquerschnitte der Sulfattranslationsmodule als Aussagequerschnitte dienen sollen, ist hier bei entsprechender Datenlage die Fragmentierung Sulfatkonzentration vom Monatswert nach Tageswerten vorgesehen (F). Entsprechende Festlegungen durch den AG sind noch zu treffen.

Sulfatsteuerungsmodule werden für die Querschnitte:

- Spremberg-Wilhelmsthal (SS WT) in Bezug auf die Maßnahmen für den Südraum,
- Leibsch UP/Spree (SS LUP) in Bezug auf die Maßnahmen des Nordraumes und
- WW Briesen in Bezug auf die Steuerung des Dahme-Umflut-Kanals

entwickelt. Dabei wird die bestehende Steuerung der Abgaben aus den TS Bautzen und Quitzdorf zur Sulfatverdünnung einbezogen.

2.2 Sulfateintragsmodule

2.2.1 Sulfateintragsmodule Südraum

Emissionsquerschnitt EQ

Die Emissionen des Südraumes werden im WBalMo Sulfatprognosemodell in Bezug auf den Emissionsquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal (BP 200.9) analysiert. Dieser Querschnitt bildet dann sowohl einen Steuerquerschnitt als auch den Eingangsquerschnitt für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg. Die Abbildung 9 enthält eine Übersicht über die Frachtbilanzierung im Sulfatprognosemodell für den Bilanzbereich Südraum.

Sulfatquellen

Als oberstromige Zuflüsse zum Bilanzbereich Südraum sind die Sulfateinträge über

- den Weißen Schöps einschließlich NÜL (Neißewasserüberleitung),
- den Schwarzen Schöps (TS Quitzdorf),
- die Spree (TS Bautzen) und
- die Kleine Spree sowie
- der natürlichen Hintergrundbelastung der Einzugsgebietsabflüsse (soweit sie nicht durch bergbauliche Sulfatquellen aufkonzentriert sind)

zu berücksichtigen.

Wesentliche Sulfateinträge stammen aus den bergbaulichen Versorgungskomplexen mit folgenden relevanten Grubenwasserbehandlungsanlagen (GWBA), Kraftwerken (KW) und Industrieableitungen

- GWBA Kringelsdorf,
- GWBA Tzschelln,
- Industrie Schwarze Pumpe und
- GWBA Am Weinberg.

Das KW Boxberg wird nicht als Sulfatquelle betrachtet. Im Kraftwerk Boxberg wird statt Sümpfungswasser das Wasser des Schwarzen Schöps und der Spree zur Kühlung verwendet. Die Ableitung des Kühlwassers in die Vorflut führt somit nicht zur Erhöhung der Sulfatfracht, jedoch aufgrund der Wasserverluste zu einer Erhöhung der Sulfatkonzentration.

Im Südraum sind zudem die bergbaulichen Speicher/ Speichersysteme

- SB Bärwalde und
- Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II

sowie der Tagebaurestsee Scheibe mit ihren Ausleitungen in den Schwarzen Schöps (Ableiter Bärwalde) bzw. die Kleine Spree (Ableiter Scheibe und Burghammer) für die Sulfatfrachtbilanzierung zu berücksichtigen.

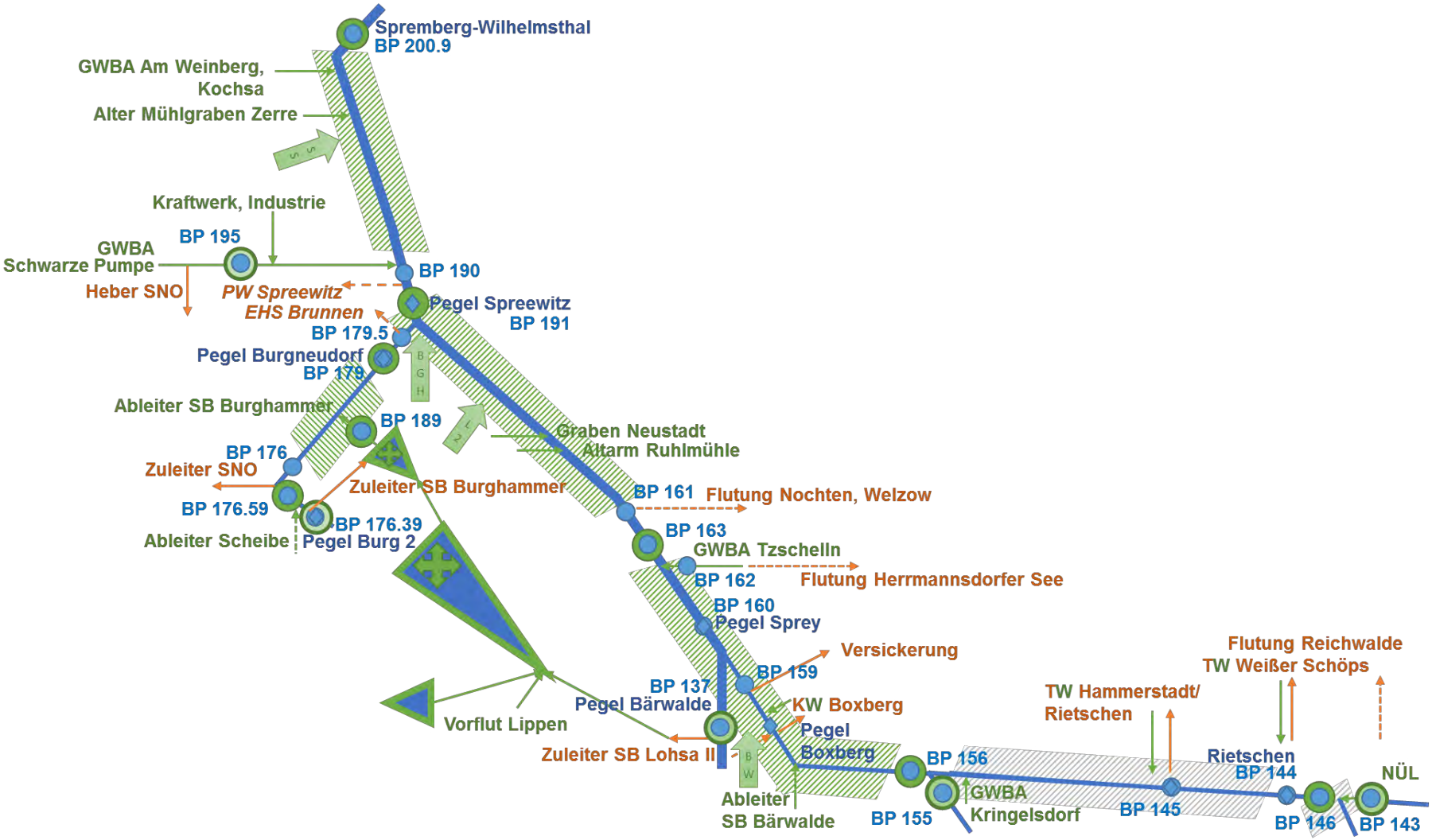


Abbildung 9: Übersicht über die Frachtbilanzierung im Sulfatprognosemodell, Bilanzbereich Südraum

Die sulfathaltigen Grundwasserabströme aus den einzelnen Speicherbecken – aufkonzentriert durch Sulfatquellen im Untergrund - sind als diffuse bergbauliche Einträge in die Sulfatbilanzierung einzubeziehen.

2.2.1.1 Obere Randbedingung Oberstrom in Kleiner Spree, Hauptspree, Schwarzem und Weißem Schöps

Als Obere Randbedingung Oberstrom werden

- der Pegel Burg 2 in der Kleinen Spree,
- der Pegel Bärwalde in der Hauptspree,
- der Pegel Sproitz im Schwarzen Schöps und
- der Pegel Rietschen für den Weißen Schöps

für den Bilanzbereich Südraum bis Pegel Spremberg-Wilhelmsthal angesetzt (s. Abbildung 9).

Die Zuflüsse wurden mit Sulfatkonzentrationen belegt. Für die Pegel Bärwalde (Spree) und Burg 2 (Kleine Spree) wurden Jahresgänge der Sulfatkonzentration abgeleitet. Diese wurden auch den Flutungswässern in den Speicher Lohsa II bzw. Burghammer zugewiesen. Die Auswertung erfolgte analog den Monatsstatistiken in (IWB, 2014a). Die Datenreihen wurden bis zum Datenstand 07/2016 aktualisiert (s. Tabelle 26 und Tabelle 27). Den auf dieser Grundlage ermittelten Jahresgängen wurden auch die aus (IWB, 2014a) gegenübergestellt (Abbildung 10 und Abbildung 11). Für Burg 2 (Abbildung 11) zeigt sich die deutliche Verbesserung der Anpassung an die Messwerte durch die Erweiterung der Datenbasis. Für die Pegel Sproitz und Rietschen wurde eine konstante Sulfatkonzentration von 65 mg/l angesetzt.

Im April 2006 wurde die Neißewasserüberleitung (NÜL) zur Flutung der Lausitzer Tagebauseen in Betrieb genommen und soll zukünftig zur Sulfatverdünnung der Spree erfolgen. Von Steinbach an der Lausitzer Neiße wird durch ein Pumpwerk und mittels einer rund 11 km langen Druckrohrleitung aus Stahl (Nenndurchmesser 1.400 mm) das Neißewasser zum Neugraben gefördert. Über ihn gelangt es in den Weißen Schöps, der über den Schwarzen Schöps in die Spree mündet. Die Überleitungskapazität liegt bei maximal 2 m³/s. Aus den Messungen in Steinbach wurde eine mittlere Sulfatkonzentration von 70 mg/l abgeleitet.

Die Tabelle 25 enthält eine Übersicht zu den Sulfatkonzentrationen der Oberen Randbedingungen.

Für die Verifizierung der Sulfateintragsmodule erfolgte die Aggregation der Abflüsse an den Pegeln zu Monatsmittelwerten. Es erfolgte keine Überleitung von Neißewasser.

Als Verifizierungszeitraum für den Südraum wurde Januar 2013 bis Dezember 2015 gewählt, da in diesem Zeitraum vor allem bzgl. der relevanten Sulfateinträge aus den GWBA und KW konsistente Verhältnisse zur Bewertung der Sulfateintragsmodule vorlagen. Die Abflüsse werden in diesem Betrachtungszeitraum in guter Bandbreite erfasst. Es liegen bis Ende 2015 zu allen Einträgen die Daten vor. Die Aufbereitung erfolgte einheitlich als Monatswerte, weil zum Teil die Datengrundlagen auch nur so vorlagen (Daten LEAG).

Tabelle 25: Übersicht zu den Sulfatkonzentrationen der Oberen Randbedingungen

Obere Randbedingung/ Zuströme	Datenaufbereitung	Modellansatz für Sulfat
Pegel Bärwalde/ Flutung Lohsa II Spree	Median der Monatswerte der Messstellen F1.1141 u. OBF21110, Auswertung 2002 - 07/2016	Jahresgang mit Monatswerten (s. Abbildung 10)
Pegel Burg 2/ Flutung Burghammer Kleine Spree	Median der Monatswerte der Messstelle F1.091, Auswertung 2002 -07/2016	Jahresgang mit Monatswerten (s. Tabelle 27)
Pegel Sproitz/ Schwarzer Schöps	Mittelwert OBF23800, ab 2008	65 mg/l
Pegel Rietschen/ Weißer Schöps		65 mg/l
Neißewasserüberleitung (NÜL)		70 mg/l

Tabelle 26: Ermittlung des Jahresgangs der Sulfatkonzentration der Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Lohsa II sowie den Zuflusspegel Bärwalde, Auswertung der Messstellen F1.1141 u. OBF21110 im Zeitraum 2002-07/2016

Sulfat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ANZAHL Messwerte	28	28	32	24	27	25	29	26	28	25	28	23
MIN [mg/l]	43	65	41	65	78	56	58	53	59	64	67	74
MAX [mg/l]	130	116	112	113	110	99	97	129	99	100	118	132
MEDIAN [mg/l]	**87**	**85**	**81**	**93**	**90**	**85**	**82**	**74**	**77**	**75**	**86**	**90**

Tabelle 27: Ermittlung des Jahresgangs der Sulfatkonzentration der Kleinen Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Burghammer sowie den Zuflusspegel Burg 2, Auswertung der Messstelle F1.091 im Zeitraum 2002-07/2016

Sulfat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
ANZAHL Messwerte	15	15	18	14	15	16	15	15	14	14	15	16
MIN [mg/l]	57	63	61	65	61	51	52	49	45	45	61	58
MAX [mg/l]	101	123	98	87	83	80	104	102	94	73	90	108
MEDIAN [mg/l]	**73**	**71**	**71**	**75**	**68**	**62**	**64**	**62**	**62**	**59**	**68**	**72**

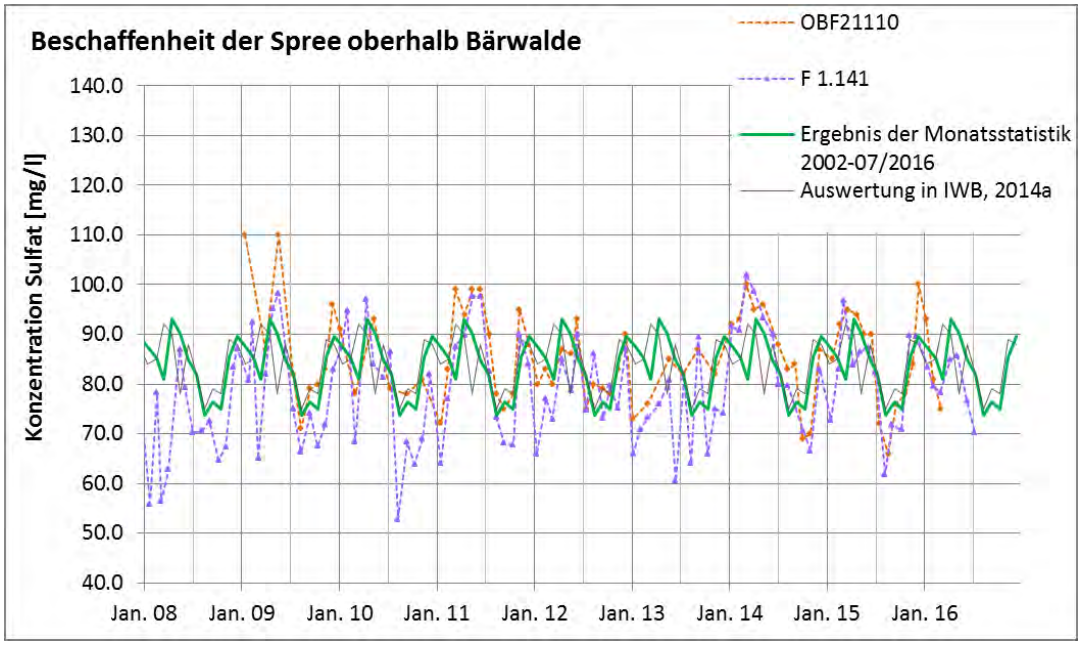


Abbildung 10: Jahresgang der Sulfatkonzentration der Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Lohsa II(Auswertung der Messstellen F1.141 und OBF21110 im Zeitraum 2002-07/2016, Darstellung ab 2008)

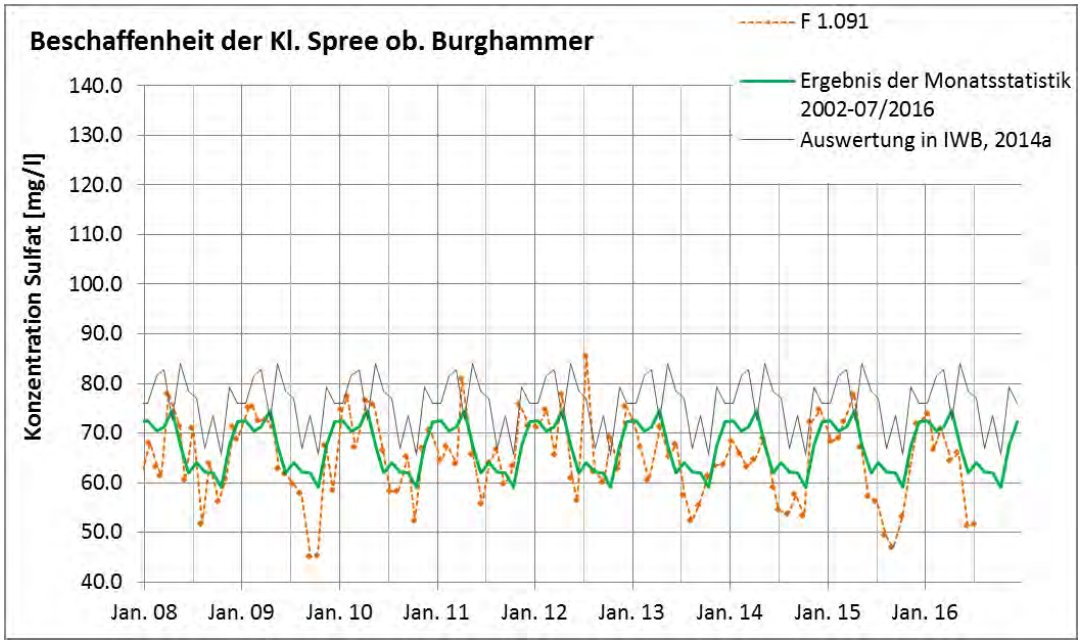


Abbildung 11: Jahresgang der Sulfatkonzentration der Kleinen Spree oberhalb des Entnahmebauwerks für die Flutung des Speichers Burghammer (Auswertung der Messstelle F1.091 im Zeitraum 2002-07/2016, Darstellung ab 2008)

2.2.1.2 Bergbauliche Versorgungskomplexe aus GWBA, Kraftwerken und Industrie

Grundlagen

Von der LEAG erfolgten zu den bergbaulichen Versorgungskomplexen aus Grubenwasserbehandlungsanlagen (GWBA), Kraftwerken (KW) und Industrieableitungen folgende Zuarbeiten:

- Datei „VEM.xls“ mit Messwerten zu Abflüssen und Sulfatkonzentrationen für die GWBA Kringelsdorf, Tzschelln und Schwarze Pumpe. Die Daten liegen ab 06/2008 bis 05/2016 vor. Zumeist umfassen sie 2 bis 5 Stichtagsmessungen pro Monat.
- Datei „Zuarbeit_VE-G für Sulfatprognosemodell.xls“ mit monatlichen Angaben zu Entnahme- und Einleitungsmengen sowie Sulfatkonzentrationen ab 07/2004 bis 12/2015 für die Kraftwerke Boxberg, Schwarze Pumpe und Jänschwalde sowie die GWRA Jänschwalde. Die Monatswerte der Abflüsse wurden aus Tageswerten aggregiert, die monatlich zugewiesenen Sulfatkonzentrationen wurden aus Stichtagswerten abgeleitet (zumeist 1 - 2 Messungen monatlich). Zudem erfolgten für den Zeitraum 2016 - 2026 Angaben zu den prognostizierten Entnahmen bzw. Einleitungen in Form von Jahresgängen oder konstanten Werten.
- Angaben zu den Sulfatkonzentrationen im Prognosezeitraum 2016 - 2026 für folgende Einleitungen der LEAG:

GWBA Kringelsdorf	250 mg/l
GWBA Tzschelln	1700 mg/l
GWBA Am Weinberg	860 mg/l (max. 30 % in die Spree)
AEW-Abl. Spreetal	520 mg/l
Industrie SP	470 mg/l

Methodik

Aus den vorliegenden Angaben zu Sulfatkonzentrationen wurden Ansätze für das Sulfatprognosemodell für den IST-Zustand und die Zukunft (2016 – 2026) abgeleitet. Die Messwerte zu Konzentrationen und Abflüssen wurden als Ganglinien ab 2008 dargestellt. Bei Stichtagswertepaaren wurde ein funktionaler Zusammenhang geprüft. Zudem wurde geprüft, ob ein Jahresgang der Sulfatkonzentrationen ableitbar ist. Im Ergebnis wurde als einheitlicher, repräsentativer Beginn für die Verifizierung des IST-Zustands der Zeitraum ab 01/2013 ermittelt. Für die Sulfateintragsmodule wurden zumeist konstante Werte, getrennt nach Ist-Zustand und Prognosezustand, zugewiesen.

Für die Verifizierung wurden die Stichtagswerte der Abflüsse zu Monatswerten aggregiert (Mittelwerte) bzw. die vorliegenden Monatswerte der Abflüsse verwendet. Zur Berechnung der monatlichen „gemessenen“ Sulfatfrachten wurden die Stichtagswerte der Sulfatkonzentrationen genutzt (ggf. gemittelt). Bei der Verifizierung der Frachten ist diese vielfach auf Stichtagswerten basierende Berechnung zu berücksichtigen.

GWBA Kringelsdorf

Die Abbildung 12 zeigt die vorhandenen Messwerte zur Entwicklung der Sulfatkonzentrationen und den Mengen des Ablaufs der GWBA Kringelsdorf seit 2008. Die Einleitmengen in den Weißen Schöps haben sich seitdem verdoppelt, die Sulfatkonzentrationen weisen einen abnehmenden Trend auf. Ab 2013 zeigt sich ein stabiles Niveau für den Ist-Zustand. Es liegen ca. 2 bis 5 Stichtagswertepaare je Monat vor. Es ist zwar ein gegenläufiges Verhalten von Abfluss und Konzentration erkennbar, die berechnete Korrelation ist jedoch zu gering (s. Abbildung 13). Es konnte auch kein ausgeprägter Jahresgang für

die Sulfatkonzentration ermittelt werden. Für den Verifizierungszeitraum wurde eine konstante Sulfatkonzentration von 260 mg/l abgeleitet. (Mittelwert ab 2013). Für den Prognosezeitraum wurde von LEAG entsprechend des abnehmenden Trends eine leicht geringere Sulfatkonzentration von 250 mg/l vorgegeben. Als Prognosewert für den Abfluss wurde der Mittelwert 2013 - 05/2016 von 3,0 m³/s berechnet (s. Abbildung 14). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Kringelsdorf mit der berechneten Fracht in Abbildung 15 zeigt eine gute Übereinstimmung. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag von 1975 t/ Monat bzw. 23700 t/ Jahr berechnet.

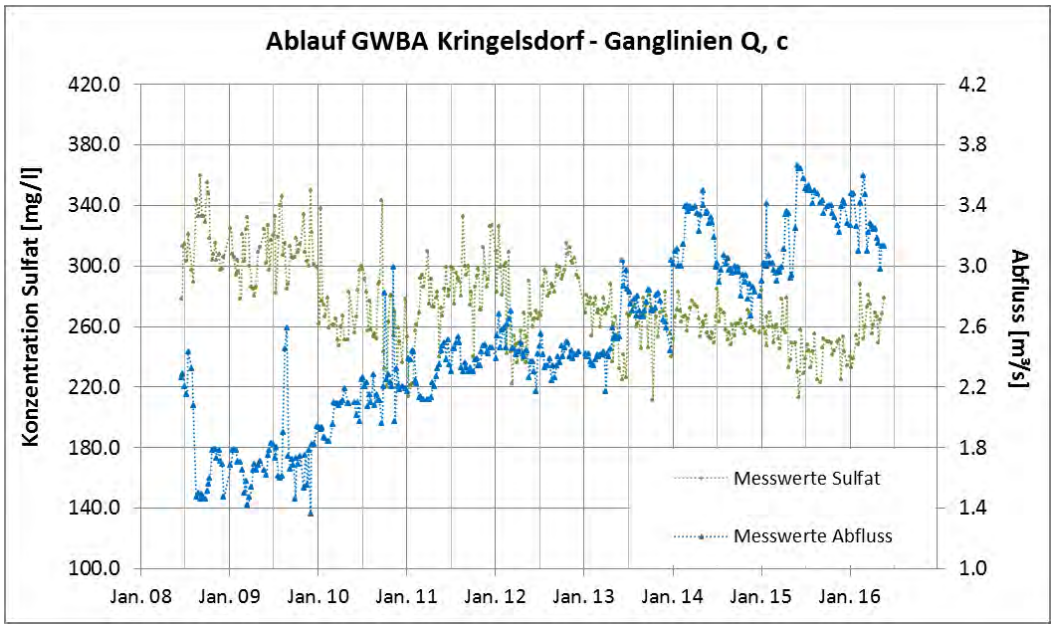


Abbildung 12: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Kringelsdorf (06/2008 bis 05/2016)

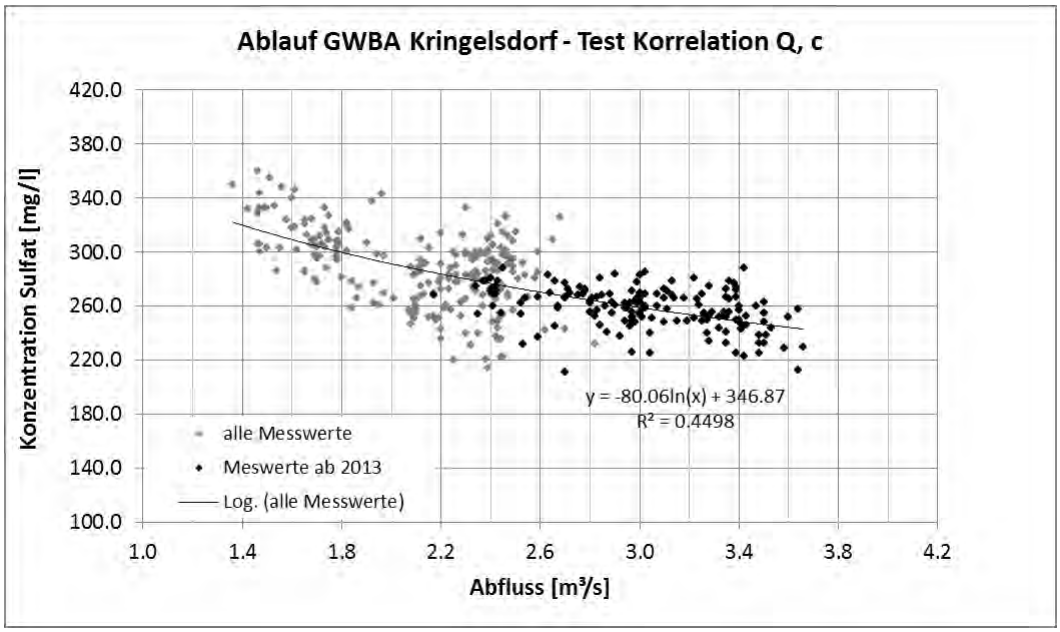


Abbildung 13: Test auf Korrelation von Abfluss und Konzentration im Ablauf der GWBA Kringelsdorf

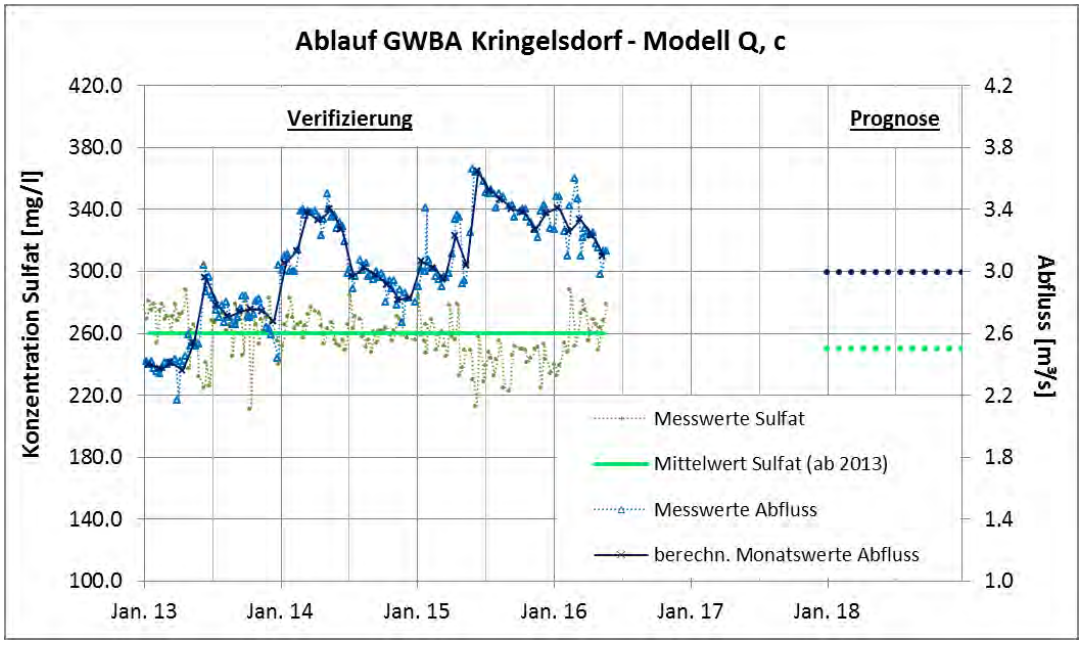


Abbildung 14: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Kringelsdorf mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

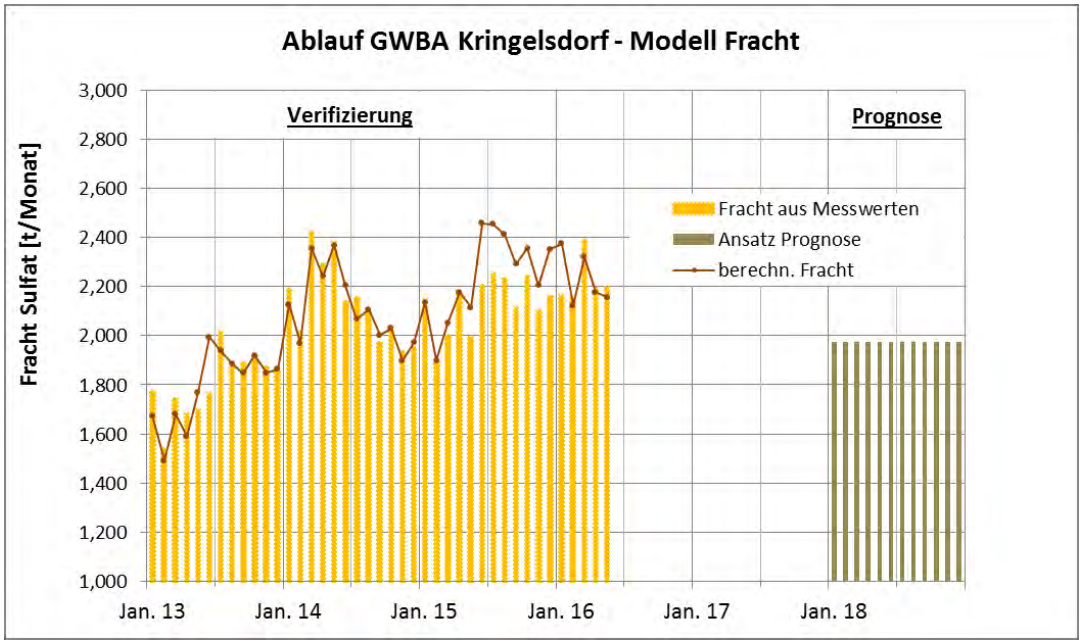


Abbildung 15: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Kringelsdorf mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

Kraftwerk Boxberg

Das KW Boxberg wird nicht als Sulfatquelle betrachtet. Im Kraftwerk Boxberg wird statt Sümpfungswasser das Wasser des Schwarzen Schöps und der Spree zur Kühlung verwendet. Die Ableitung des Kühlwassers in die Vorflut führt somit nicht zur Erhöhung der Sulfatfracht, jedoch aufgrund der Wasserverluste zu einer (geringen) Erhöhung der Sulfatkonzentration im Schwarzen Schöps.

Die Entnahme aus der Spree und dem Schwarzen Schöps verhält sich im Mittel ca. 20% zu 80%. Da die Entnahme aus der Spree vor dem Pegel Bärwalde als obere Randbedingung des Bilanzgebiets erfolgt, wird sie nicht weiter betrachtet. Die Einleitung erfolgt über das Erdbecken (EB) und den Regenwassersammler (RWS) in den Schwarzen Schöps. Der Pegel Boxberg befindet sich nach der Einleitung EB und vor der Einleitung RWS.

Die Abbildung 16 zeigt die als Monatswerte aggregierten Messwerte 2013 - 2015 der Entnahme- und Rückleitungsmengen aus bzw. in den Schwarzen Schöps sowie die von der LEAG abgeleiteten Prognoseansätze. Im Mittel wird ca. 1 m³/s aus dem Schwarzen Schöps entnommen. Der Jahresgang der LEAG weist maximale Entnahmen von 1,2 m³/s von Mai bis August sowie minimale Entnahmen von 0,8 m³/s im November bis Februar aus. Über das EB werden im Mittel 0,1 m³/s zurückgeleitet. Die Rückleitung über den RWS beträgt im Mittel 0,2 m³/s. Es wird ein Jahresgang mit maximalen Einleitungen von 0,3 m³/s von Juni bis August sowie minimalen Einleitungen von 0,1 m³/s im Dezember bis Februar angegeben. Insgesamt besteht durch das Kraftwerk im Schwarzen Schöps ein Wasserverlust von ca. 0,55 bis 0,9 m³/s (Monatswertbetrachtung).

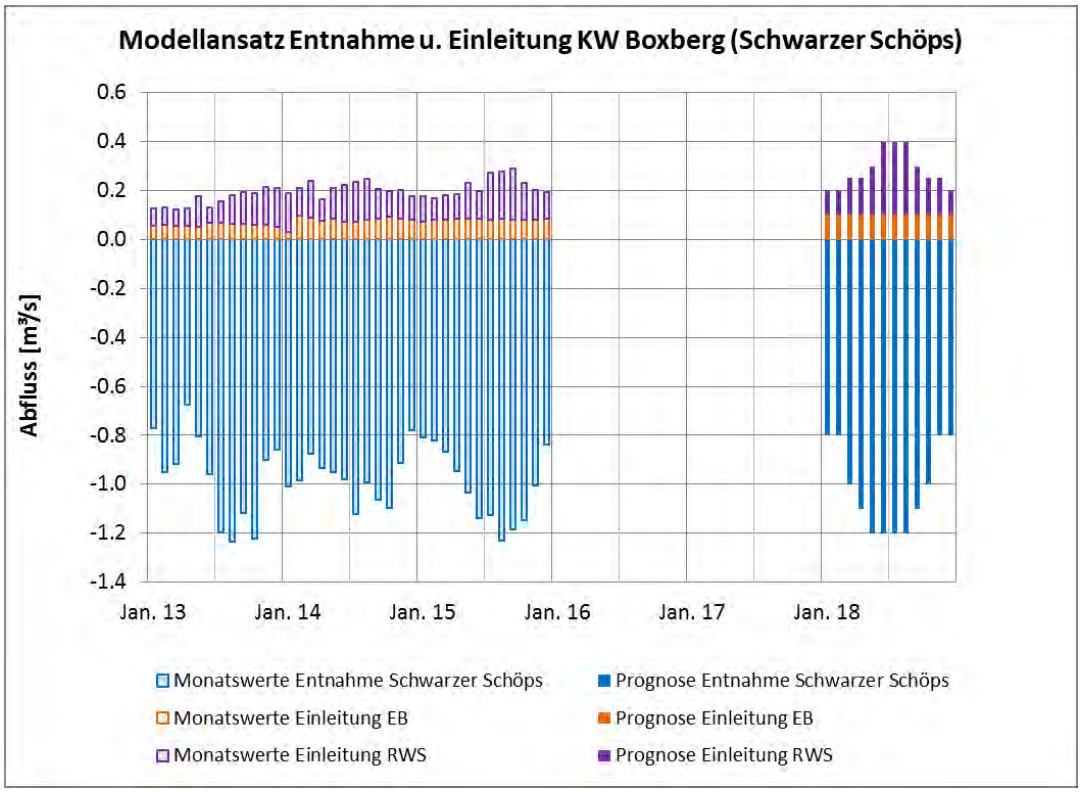


Abbildung 16: Gegenüberstellung der Messwerte 2013 - 2015 zu Entnahme und Einleitung des KW Boxberg aus bzw. in den Schwarzen Schöps mit den Prognoseansätzen

GWBA Tzschelln

Zwischen dem Pegel Sprey und der Einmündung der Kleinen Spree leitet die GWBA Tzschelln behandeltes Sümpfungswasser in die Spree. Die Abbildung 17 zeigt die vorhandenen Messwerte zur Entwicklung der Sulfatkonzentrationen und den Mengen des Ablaufs der GWBA Tzschelln seit 2008. Es liegen ca. 2 bis 5 Stichtagswertepaare je Monat vor. Die Einleitmengen stiegen zwischen 2010 und 2012 von im Mittel ca. 0,5 m³/s auf über 0,8 m³/s und liegen seitdem auf einem gleichbleibenden Niveau. Der Mittelwert 2013 - 05/2016 beträgt 0,77 m³/s und wird als Prognosewert für den Abfluss verwendet. Die Sulfatkonzentrationen sind seit 2008 leicht rückläufig, der Mittelwert 2013 - 05/2016 liegt bei ca. 1700 mg/l (1740 mg/l). Für den Verifizierungszeitraum als auch die Prognose 2016 – 2026 werden 1700 mg/l als konstante Sulfatkonzentration im Modell angesetzt (s. Abbildung 18). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Tzschelln mit der berechneten Fracht in Abbildung 19 zeigt eine gute Übereinstimmung. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag von 3450 t/ Monat bzw. 41400 t/ Jahr berechnet.

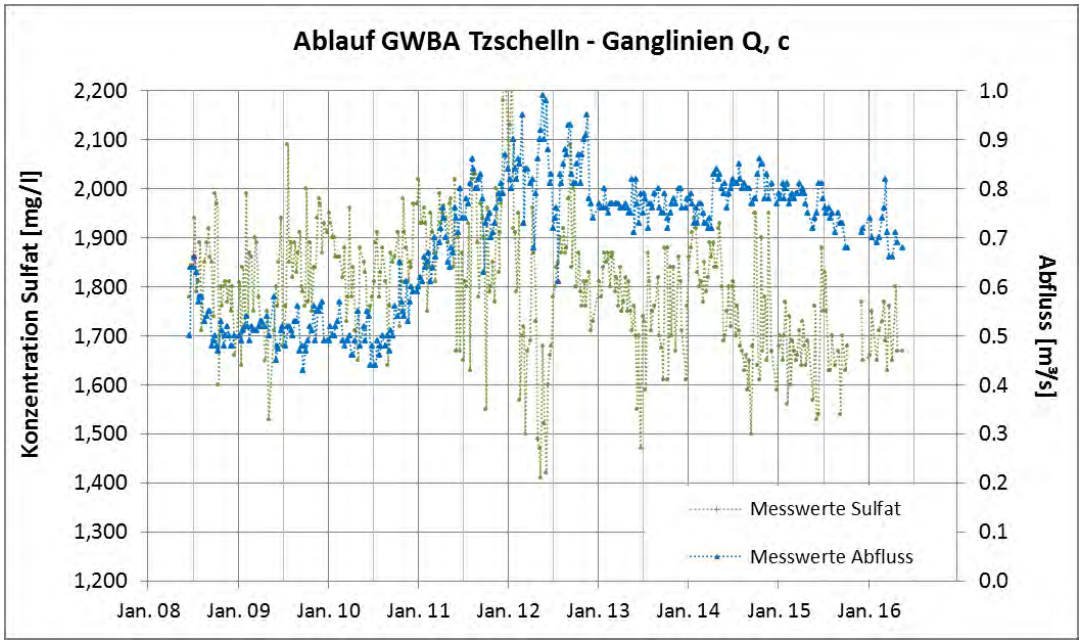


Abbildung 17: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Tzschelln (06/2008 bis 05/2016)

Die Sulfatminderungsmaßnahmen Flutung Hermannsdorfer See sowie Einspeisung in den Floß- und Rotwassergraben sind bereits im WBalMo mengenmäßig erfasst. Die Ableitung erfolgt von der GWBA Tzschelln mit der o. g. mittleren Konzentration. Die Überleitung ist ab Mitte 2017 geplant.

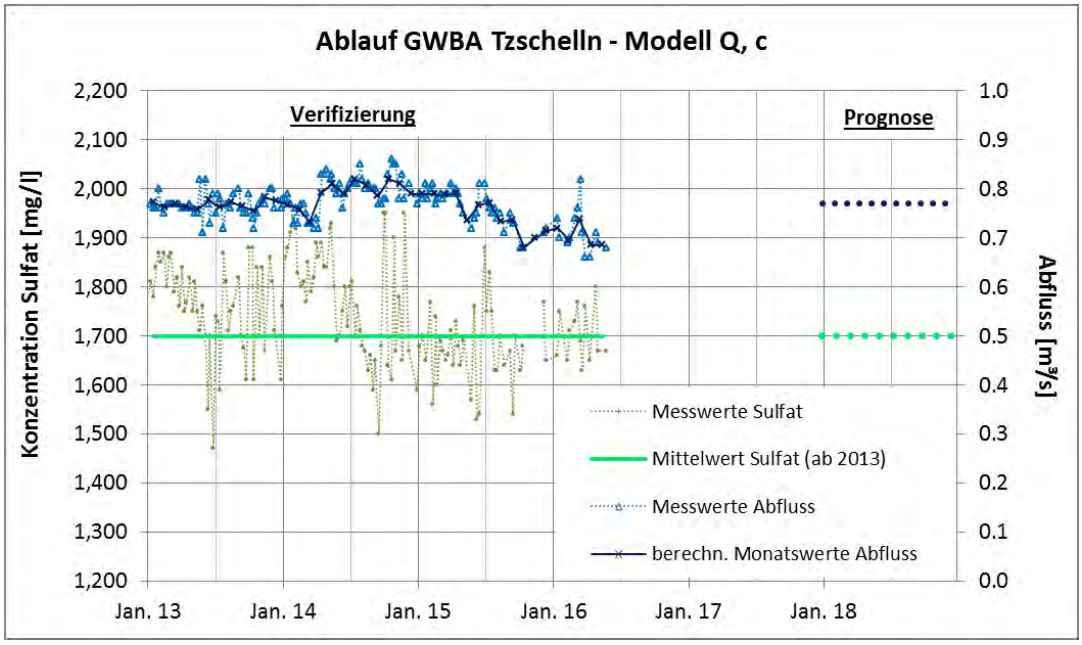


Abbildung 18: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Tzschelln mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

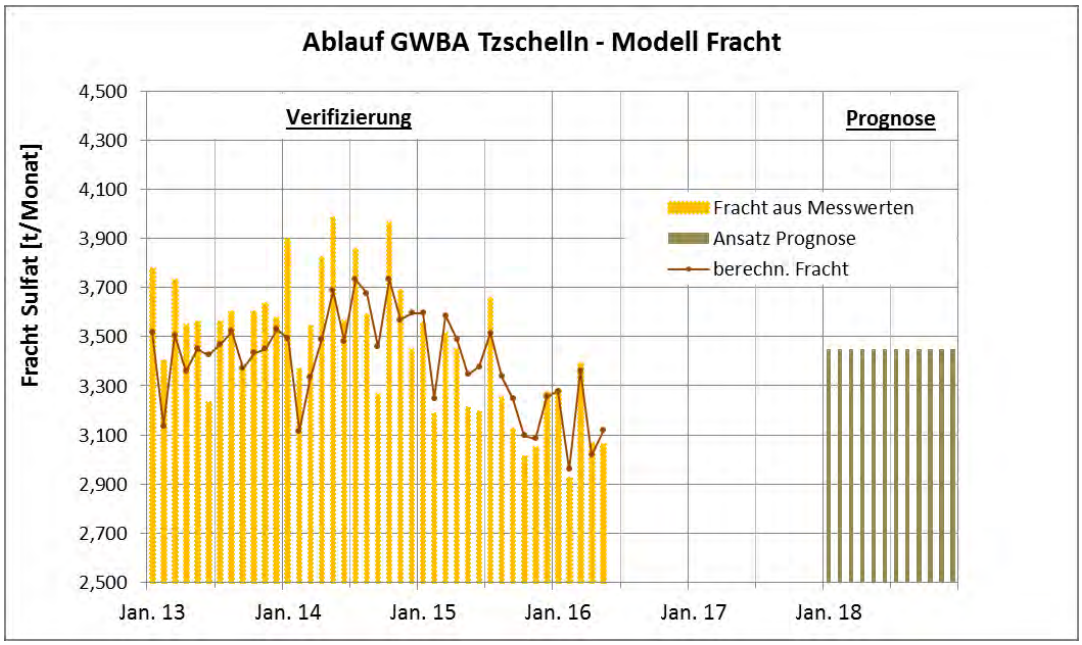


Abbildung 19: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Tzschelln mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

GWBA Schwarze Pumpe

Der Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe erfolgt über den Industriekanal in die Spree unterhalb des Pegels Spreewitz. Die Abbildung 20 zeigt die vorhandenen Messwerte zur Entwicklung der Sulfatkonzentrationen und den Mengen des Ablaufs der GWBA Schwarze Pumpe seit 2008. Es liegen ca. 2 bis 5 Stichtagswertepaare je Monat vor. Die Ableitmengen und Sulfatkonzentrationen weisen keinen Trend auf. Es gibt keine Korrelation zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration, ein Jahresgang für die Sulfatkonzentration konnte auch nicht abgeleitet werden Die Abflüsse schwanken zwischen ca. 2,0 und 3,5 m³/s. Der Mittelwert 2013 - 05/2016 beträgt 2,65 m³/s und wird als Prognosewert für den Abfluss verwendet. Die Sulfatkonzentrationen schwanken zwischen ca. 350 und 550 mg/l. Der Mittelwert 2013 - 05/2016 liegt bei ca. 470 mg/l (467 mg/l). Für den Verifizierungszeitraum als auch die Prognose 2016 – 2026 werden 470 mg/l als konstante Sulfatkonzentration im Modell angesetzt (s. Abbildung 21). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht in Abbildung 22 zeigt eine gute Übereinstimmung. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag von 3282 t/ Monat bzw. 39386 t/ Jahr berechnet.

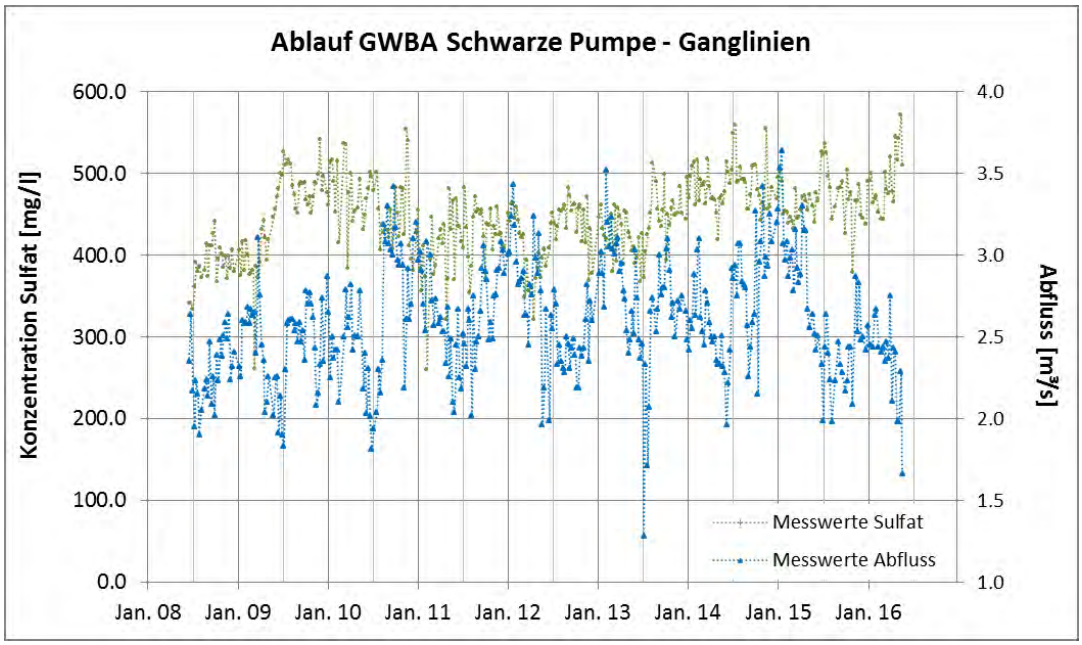


Abbildung 20: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe (06/2008 bis 05/2016)

Aus dem Industriekanal erfolgt die Ableitung über den Heber Spreetal Nordost. Im Verifizierungszeitraum wurden 2015 in den Monaten Februar bis April sowie September bis November bis zu 0,29 m³/s im Monatsmittel abgeleitet. Die Ableitung wird mit der o.g. mittleren Konzentration belegt.

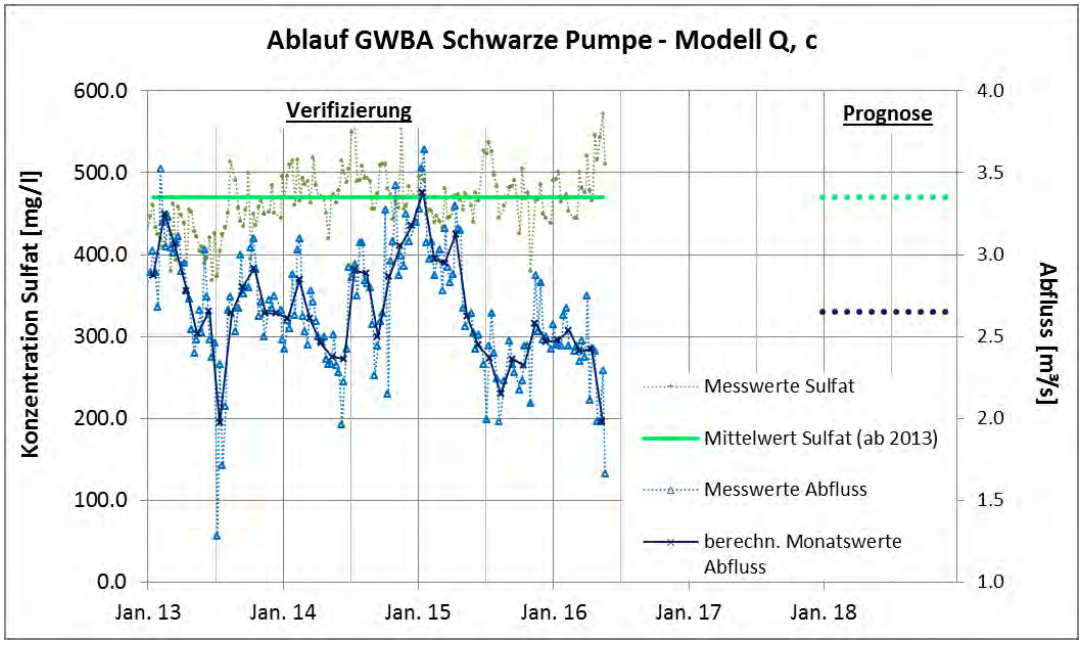


Abbildung 21: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

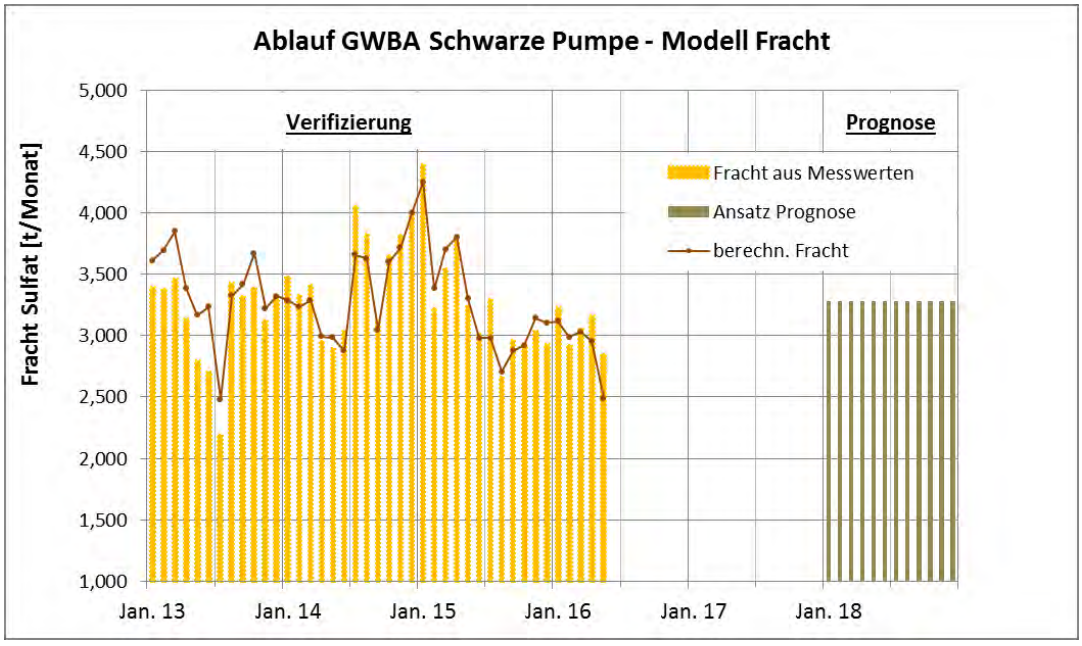


Abbildung 22: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

KW Schwarze Pumpe

Das Kraftwerk Schwarze Pumpe leitet über den Industriekanal in die Spree ein. Für den Zeitraum 07/2004 bis 12/2015 liegen Monatswerte zum Abfluss (aus Tageswerten aggregiert) und zur Sulfatkonzentration (aus Stichtagswerten abgeleitet, zumeist nur 1 Messung monatlich) vor. Seit 2008 ist ein Anstieg der Sulfatkonzentrationen von ca. 800 bis 1000 mg/l auf ca. 1200 bis 1400 mg/l erkennbar. Die Abflüsse schwanken zwischen 0,1 und 0,35 m³/s und weisen ebenfalls einen zunehmenden Trend auf (s. Abbildung 23). Für die Verifizierung wurde die mittlere Sulfatkonzentration 2013-2015 mit 1320 mg/l angesetzt. Für die Prognose 2016 – 2026 erfolgte von der LEAG die Vorgabe von 1500 mg/l Sulfat im Ablauf des Kraftwerks. Für die Prognose der Ablaufmengen wurde ein Jahresgang mit maximalen Abflüssen im Sommer von 0,35 m³/s im Sommer sowie minimalen Abflüssen im Winter von 0,2 m³/s angegeben (s. Abbildung 24). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWBA des KW Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht in Abbildung 25 zeigt eine gute Übereinstimmung. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag von 791 bis 1383 t/ Monat bzw. 12451 t/ Jahr berechnet. Aufgrund der gegenüber dem IST-Zustand höher angesetzten Ableitmengen und Sulfatkonzentrationen erfolgt zukünftig mehr Sulfateintrag in die Spree.

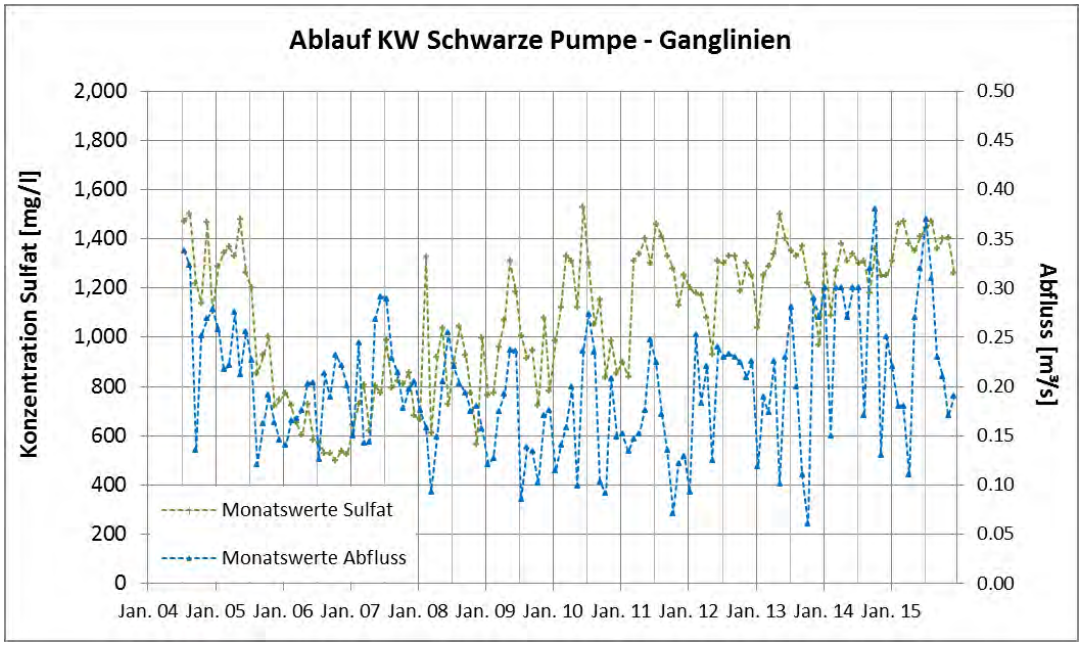


Abbildung 23: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss im Ablauf des KW Schwarze Pumpe (07/2004 bis 12/2015)

GWBA Am Weinberg

Aus der GWBA Am Weinberg erfolgt im Bilanzbereich Südraum über die Kochsa eine Einleitung in die Spree oberhalb der Talsperre Spremberg. Die Einleitung beträgt im Mittel 50 l/s (Versorgungsbilanz LEAG). Die mittlere Sulfatkonzentration der GWBA Am Weinberg wird mit 860 mg/l angegeben.

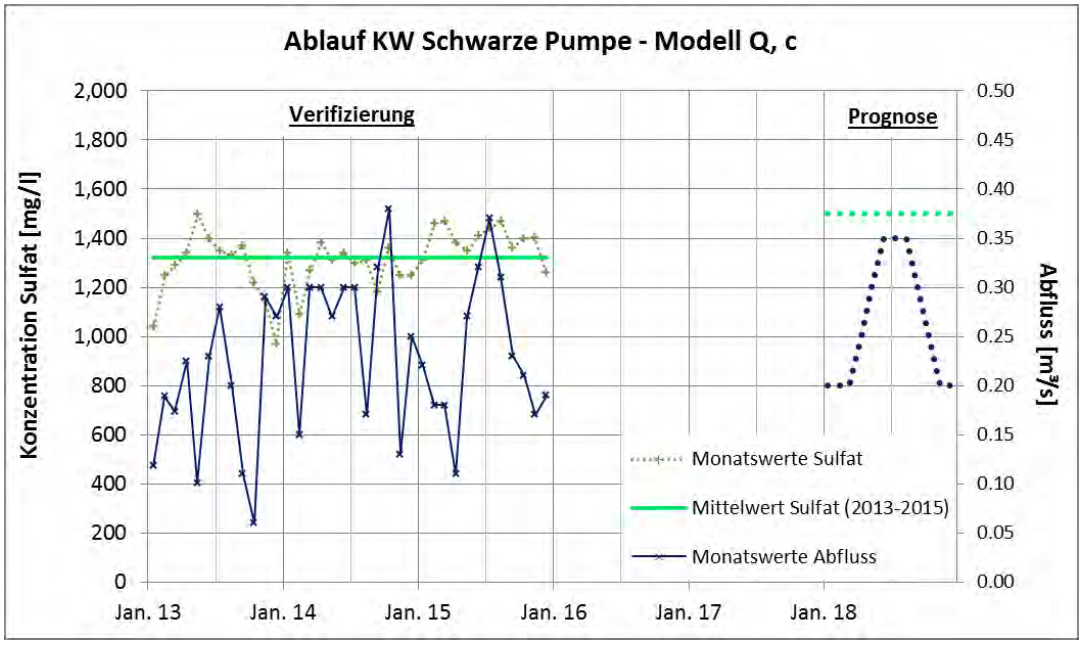


Abbildung 24: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf des KW Schwarze Pumpe mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

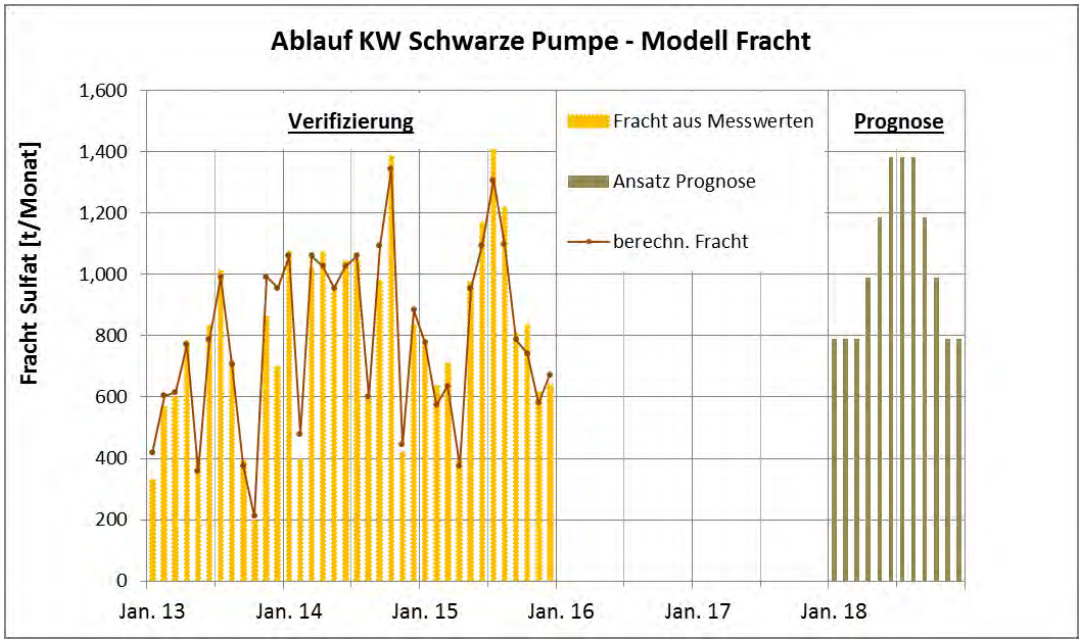


Abbildung 25: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf des KW Schwarze Pumpe mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

2.2.1.3 Bergbauliche Speicher und Tagebauseen

Im Südraum leiten die bergbaulichen Speicher/ Speichersysteme

- **Speicherbecken Bärwalde** über den Ableiter zum Schwarzen Schöps
- **Wasserspeichersystem Lohsa II** (Tagebauseen Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer) über den Ableiter Burghammer zur Kleinen Spree

ihre Wasserbilanzüberschüsse in das Vorflutsystem der Spree ab. Diese Restseen werden in ihren jeweiligen Speicherlamellen bewirtschaftet.

Der Tagebausee Scheibe wird nicht bewirtschaftet. Nach Fertigstellung des Ableiters wird das Überschusswasser in die Kleine Spree abgegeben. Da der Endwasserstand von +111,5 m NHN bereits erreicht ist, erfolgte seit 2012 die Überleitung in den Speicher Burghammer. Die aktuelle Sulfatkonzentration liegt bei 516 mg/l (Mittelwert G 2.081 und MS-ID 2900 ab 2013). Es wird prognostiziert, dass aufgrund der Verringerung der grundwasserbürtigen Sulfateinträge die mittlere Sulfatkonzentration im Scheibe-See bis zum Jahr 2022 auf rund 410 mg/l bzw. bis 2100 auf ca. 300 mg/l sinkt (BTU Cottbus, 2006).

Der Sulfateintrag aus den Bergbaufolgeseen ist von der ausgeleiteten Wassermenge und der Sulfatkonzentration des Seewassers abhängig. Die Abbildung 26 enthält die im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015 erfolgten Ableitungen Bärwalde und Burghammer als Monatsmittelwerte. Die Mengen liegen in vergleichbarer Größenordnung. Hingegen zeigt die Abbildung 27 die deutlich unterschiedlichen Sulfatausträge aufgrund der stark differierenden Sulfatkonzentrationen in den Speicherseen.

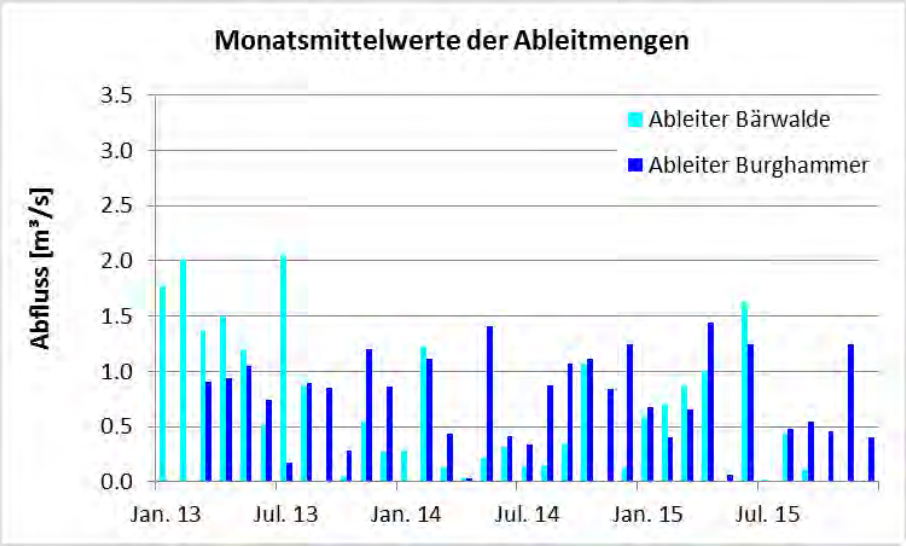


Abbildung 26: Monatsmittelwerte der Ableitmengen aus den SB Bärwalde und WSS Lohsa II

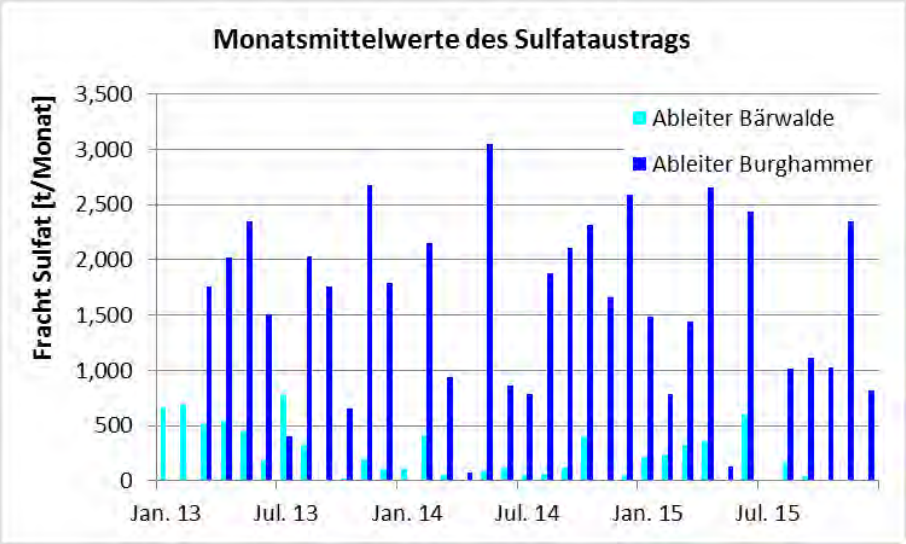


Abbildung 27: Monatsmittelwerte des Sulfataustrags aus den SB Bärwalde und WSS Lohsa II

Speicherbecken Bärwalde

Die Abbildung 28 zeigt Entwicklung von Wasserstand und Sulfatkonzentration im Speicherbecken Bärwalde ab 2003 bis zum Datenstand 06/2016. Die Sulfatkonzentration im Speicher Bärwalde liegt seit Mitte des Jahres 2013 bei ca. 140 mg/l. Im Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Speicherbecken Bärwalde (IWB, 2015g) wird prognostiziert, dass sich die Sulfatkonzentration auf diesem Niveau stabilisiert. Es wird von keinem weiteren Rückgang der Sulfatkonzentration ausgegangen.

Für das Sulfatprognosemodell wird daher der Ansatz einer konstanten Sulfatkonzentration von 140 mg/l gewählt. Die Ausleiterkapazität in den Schwarzen Schöps liegt bei 3 m^3/s.

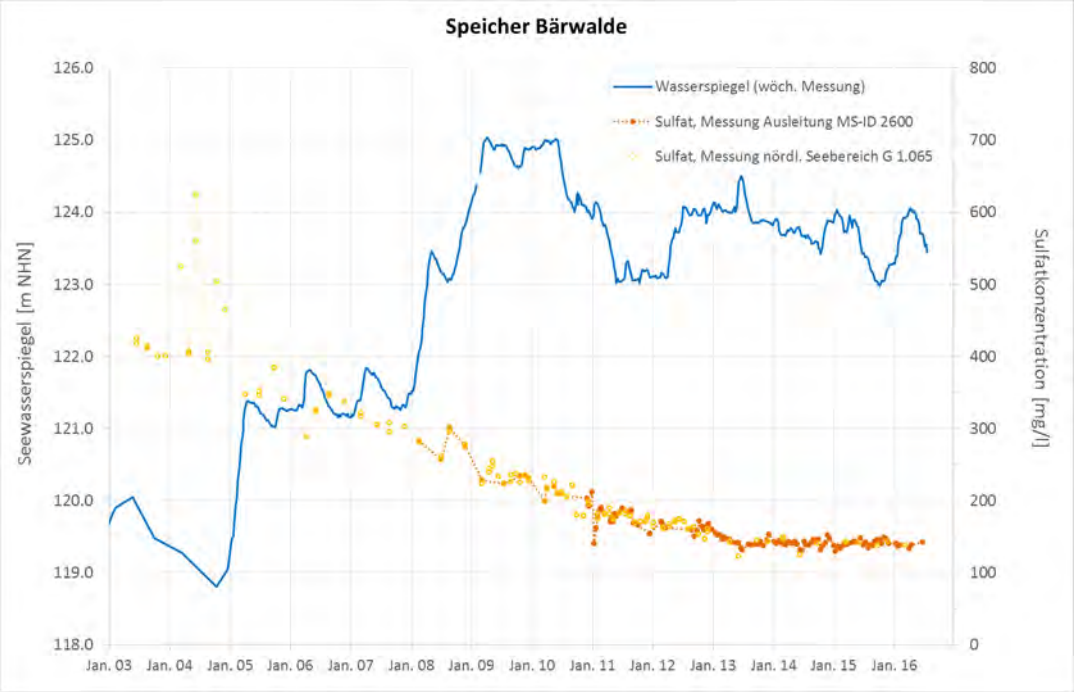


Abbildung 28: Entwicklung von Wasserstand und Sulfatkonzentration im Speicherbecken Bärwalde (ab 2003)

Wasserspeichersystem Lohsa II

Die Speicher Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer bilden das Wasserspeichersystem (WSS) Lohsa II. Die drei Speicher sind miteinander verbunden und leiten über den Ableiter Burghammer mit max. 7 m³/s in die Kleine Spree aus. In das WSS können max. 15 m³/s aus der Spree (Lohsa II) und 5 m³/s aus der Kleinen Spree (Burghammer 2 m³/s und Dreiweibern 3 m³/s) eingeleitet werden.

Wesentliche Arbeitsgrundlage für die folgenden Ausführungen und Modellkonzepte zur Sulfatprognose bildet das „Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Tagebauseen Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer (Speichersystem Lohsa II)“ (IWB, 2014a).

Der **Speicher Dreiweibern** wird seit 2002 in der Lamelle von +116,0 bis +118,0 m NHN bewirtschaftet. Das maximale Seevolumen beträgt 35,2 Mio. m³. Bis September 2010 erfolgte eine kontinuierliche Flutung aus der Kleinen Spree, seitdem nur noch sporadisch. Das Seewasser ist neutral und gering mineralisiert und auch ohne Einleitungen aus der Kleinen Spree stabil. Seit etwa 2008 hat sich eine stationäre Wasserbeschaffenheit eingestellt, die Sulfatkonzentration liegt bei ca. 170 mg/l. Die Ableitung erfolgt in den Speicher Lohsa II.

Der **Speicher Lohsa II** wurde zwischen 1997 und 2007 aus der Spree geflutet. Seitdem erfolgt weiterhin die Einleitung von Flutungswasser aus der Spree, um durch einen dauerhaft höheren Einstau und die Verdünnung der Wiederversauerung des Speichers entgegen zu wirken. Die Sulfatkonzentration betrug Anfang 2016 ca. 450 mg/l. Anhand von 100 Realisierungen zu Bewirtschaftungsszenarien wird in (IWB, 2014a) bis zum Jahr 2026 ein Rückgang der Sulfatkonzentration im Speicher Lohsa II auf ca. 310 mg/l prognostiziert. Bis zum Jahr 2100 wird durch die Verringerung der grundwasserbürtigen Sulfateinträge ein weiterer Konzentrationsrückgang auf rund 240 mg/l erwartet.

Die Speicherlamelle in Lohsa II liegt bei +109,5 bis +116,4 m NHN. Der Wasserstand lag Anfang 2016 bei ca. +114 m NHN. Das maximale Seevolumen beträgt 97,4 Mio. m³. Neben der Flutung aus der Spree erfolgt die Überleitung aus dem Speicher Dreiweibern in den Speicher Lohsa II. Zudem wird die Vorflut Lippen in den Speicher eingeleitet (v.a. Ablassen der Fischteiche im Herbst). Im Februar 2016 erfolgte erstmalig die Überleitung in den Speicher Burghammer.

Der **Speicher Burghammer** erhält Flutungswasser aus der Kleinen Spree. Ab September 2012 bis Juli 2015 wurde temporär das Überschusswasser vom Scheibesee eingeleitet. Seit Februar 2016 erfolgt die Überleitung aus dem Speicher Lohsa II. Die Grundwasserzuflüsse betragen ca. 30 - 35 m³/min (0,5 – 0,6 m³/s), es erfolgt demgegenüber nur geringer Grundwasserabstrom. Aufgrund des Grundwasserüberschusses und der Einleitungen besteht ein Bilanzüberschuss, der seit September 2009 in die Kleine Spree abgeleitet wird.

Das obere Stauziel liegt bei +109,0 m NHN und wurde erstmalig im Juli 2009 erreicht. Seit 2013 wird der Speicher in der Lamelle zwischen +108,0 bis +109,0 bzw. +108,5 m NHN bewirtschaftet. Der untere Wasserstand der Speicherlamelle liegt bei +107,5 m NHN. Das maximale Seevolumen beträgt 36,3 Mio. m³.

Durch den anhaltenden Grundwasserzustrom unterliegt der Speicher Burghammer einem permanenten Versauerungseinfluss. Es wurden und werden In-lake-Maßnahmen zur Neutralisierung durchgeführt. Zusätzlich zu den Wasserbehandlungsmaßnahmen gegen die Wiederversauerung besteht ein Nachsorgebedarf durch Spülungsflutungen aus der Kleinen Spree. Die Sulfatkonzentration betrug Anfang 2016 ca. 700 bis 750 mg/l. Anhand von 100 Realisierungen zu Bewirtschaftungsszenarien wird bis zum Jahr 2026 ein Rückgang der Sulfatkonzentration auf ca. 340 mg/l prognostiziert. Bis zum Jahr 2100 wird in Folge der rückläufigen Sulfateinträge aus dem Grundwasser eine weitere Verringerung der Sulfatkonzentration auf rund 260 mg/l erwartet (IWB, 2014a).

Für die Ausleitung aus dem Speichersystem Lohsa II über den Speicher Burghammer in die Kleine Spree wurden behördlicherseits Gewässergütekriterien für die Ausleitung festgelegt (AG „Flussgebietsbewirtschaftung Spree-Schwarze Elster“, 2011). Danach ist am Auslauf des Speichers Burghammer mit pH = 6,0…8,5 ein neutrales Wasser zu gewährleisten, das maximal 3 mg/l Gesamteisen, 1 mg/l gelöstes Eisen, 1 mg/l Zink, 40 □g/l Kupfer sowie 1,5 mg/l Ammonium-Stickstoff enthält. Für Sulfat gilt zudem, dass in der Spree an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal ein Immissionswert von 450 mg/l im 90-Perzentil nicht überschritten werden darf.

Für die Abbildung des Speichersystems im Sulfatprognosemodell wurden **Stoffbilanzmodelle für die Speicher Lohsa II und Burghammer** erstellt. D.h. es wurden jeweils alle Zu- und Abströme mit Sulfatkonzentrationen belegt und die Frachten bilanziert. Die Konzentrationen der Ein- und Überleitungen wurden aus vorliegenden Messreihen abgeleitet bzw. ergeben sich aus den sich einstellenden Seewasserkonzentrationen im Stoffbilanzmodell. Für die Grundwasserzuströme wurden die den Bilanzbereichen im LMBV-Modell LUPLOH zugewiesenen Sulfatkonzentrationen aus dem Grundwasser Monitoring verwendet. Diese Messwerte bzw. gewichteten Messwerte werden konstant angesetzt. Die Grundwasserabströme wurden mit den aktuellen Seewasserkonzentrationen aus dem Stoffbilanzmodell belegt. Die folgenden Tabellen enthalten die Modellansätze für die Sulfatkonzentrationen der Zuströme zu den Speicherseen Lohsa II und Burghammer, die im Wesentlichen analog der Wassersbeschaffenheitsmodellierung von IBW belegt wurden (IWB, 2014a). Die Monatsstatistiken zu der Beschaffenheit der Flutungswässer aus der Spree und Kleinen Spree wurden bis zum Datenstand 07/2016 aktualisiert (s. Kapitel 2.2.1.1). Für die Vorflut Lippen wurde in Abstimmung mit der LMBV ein Mittelwert aus den Messstellen M1 und M2 angesetzt.

Tabelle 28: Sulfatkonzentrationen der Zuströme für das Stoffbilanzmodell Lohsa II

Zuströme	Datenaufbereitung	Modellansatz für Sulfat
Flutung aus der Spree	Median der Monatswerte der Messstellen F1.1141 u. OBF21110, Auswertung 2002 - 07/2016	Jahresgang mit Monatswerten (s. Tabelle 26)
Überleiter Dreiweibern	seit 2008 konstant	170 mg/l
Vorflut Lippen	Mittel aus M1 (F1.001, Mittel 2007-2015 194 mg/l) u. M2 (17. 04.2013, 980 mg/l)	590 mg/l
Grundwasserzustrombereiche	Zuordnung Grundwassermessstellen:	
Lohsa II_AH_Scheibe	6011(720)	282 mg/l
Lohsa II_Gewachsenes_N	k.A. -> wie Gewachsenes_O belegt	205,4 mg/l
Lohsa II_Gewachsenes_O	20% 6066(100), 80% 6138(100)	205,4 mg/l
Lohsa II_Gewachsenes_W	40% 6011(100), 30% 6009(100), 30 % 6227(100)	288 mg/l
Lohsa II_Kippe_S	20% 6008(111), 80% 2040M(111)	1236 mg/l
Lohsa II_Kippe_SW	6007(111)	807 mg/l

Tabelle 29: Sulfatkonzentrationen der Zuströme für das Stoffbilanzmodell Burghammer

Zuströme	Datenaufbereitung	Modellansatz für Sulfat
Flutung aus der Kleinen Spree	Median der Monatswerte der Messstelle F1.091, Auswertung 2002 - 07/2016	Jahresgang mit Monatswerten (s. Tabelle 27)
Überleiter Scheibe (temporär, Sept 2012-Juli 2015)	Mittelwert G 2.081 u. MS-ID 2900 (Ausleiter) ab 2013	516 mg/l
Überleiter Lohsa II (seit 12.02.2016)		aus Stoffbilanzmodell Lohsa II
Grundwasserzustrombereiche	Zuordnung Grundwassermessstellen:	
Burghammer_Hangendes_S	6012(100)	633 mg/l
Burghammer_Kippe	30% 6223(111), 70% 192(111)	1163,7 mg/l
Burghammer_Hangendes_SW	6012(100)	633 mg/l
Burghammer_Hangendes_NO	6013(100)	681 mg/l

Für die Abbildung der Menge und Dynamik der Grundwasserströme in und aus den Speicherseen bilden die in (IWB, 2014a) dokumentierten **Hysterese-Funktionen** die Grundlage. Die Abbildung 29 zeigt eine Prinzipskizze der Hysterese-Funktionen. Es wurden getrennt nach Zustrom und Abstrom jeweils Hysterese-Funktionen für die von der LMBV im Grundwasserströmungsmodell LUPLOH definierten Bilanzbereiche entwickelt. Mit den Hysterese-Funktionen werden die Grundwasserzu- und abströme in Abhängigkeit

vom Wasserspiegel im Speicher berechnet. Im Speicher Burghammer wird zudem für einige Bilanzbereiche die Differenz zwischen den Wasserspiegeln in den beiden Speichern berücksichtigt (Zustrom Hangendes Süd sowie Zu- und Abstrom Kippe). Da der geohydraulische Gleichgewichtswasserstand (HGG) des Speichers Lohsa II bei +113,5 m NHN und somit innerhalb der Bewirtschaftungslamelle von +109,5…+116,4 m NHN liegt, sind für die Speicherlamellen unter und über dem Gleichgewichtswasserstand separate Hysterese-Funktionen definiert. Im Speicher Burghammer liegt der Gleichgewichtswasserstand über dem Maximalstauziel, so dass die Hysterese-Funktionen die gesamte Bewirtschaftungslamelle von +107,5…+109,0 m NHN abdecken.

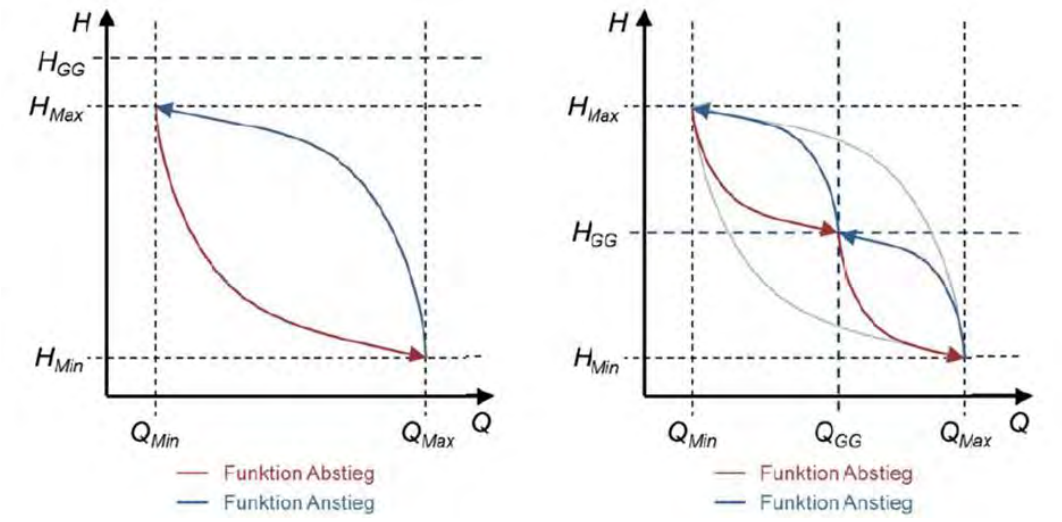


Abbildung 29: Prinzipskizze der Hysterese-Funktionen für den Speicher Burghammer (links) und für den Speicher Lohsa II (rechts) [IWB, 2014a]

Die Abbildung 30 zeigt die konzeptionelle Umsetzung der Hysterese-Funktionen im Sulfatprognosemodell. Damit ist es nun möglich, die Grundwasserzu- und abströme in Abhängigkeit von der Speicherbewirtschaftung zu berechnen und die für die Sulfatkonzentrationsentwicklung in den Speicherseen jeweils relevanten Sulfatfrachten differenziert nach den Zustrombereichen zu berücksichtigen.

Die Tabelle 30 enthält die Parameter der Hysterese-Funktionen für die Speicher Lohsa II und Burghammer. Im Zuge der Verifizierung der Stoffbilanzmodelle für die Speicher mussten teilweise die Werte für Qmin und Qmax sowie die Exponenten für An- bzw. Abstieg in einzelnen Zu- bzw. Abstrombereichen angepasst werden. Die in IWB, 2014a dokumentierten Parameter wurden aus synthetischen Zuständen zur Speicherbewirtschaftung abgeleitet. In der Verifizierung wurde deutlich, dass mit diesen Werten nicht die beobachteten Gesamtvolumen (rückgerechnet aus den Wasserspiegeln) sowie nicht die mit dem LMBV-Modell ausgewiesenen Teilzuströme in Größe und Verlauf abgebildet werden können. Im Folgenden wird das Vorgehen zur Verifizierung der neu entwickelten Stoffbilanzmodelle für die Speicherseen Lohsa II und Burghammer erläutert.

Für die Verifizierung wurde ein möglichst langer Zeitraum von Januar 2008 bis April 2016 (Datenstand) gewählt. Ab 2008 kann die Sulfatkonzentration im Überleiter Dreiweibern als konstant angesetzt werden und es liegen Daten zu den Seewasserbeschaffenheiten vor. Innerhalb des Verifizierungszeitraums wurden die Ein- und Überleitungen als Monatsmittelwerte aufbereitet. Alle Zuströme in die Speicherseen wurden mit Sulfatkonzentrationen entsprechend den Angaben in Tabelle 28 und Tabelle 29 belegt. Die Abströme (Grundwasser bzw. Ausleitung) wurden mit den zum Zeitschritt aktuellen Seewasserkonzentrationen aus dem Stoffbilanzmodell belegt.

Die **Verifizierung der Stoffbilanzmodelle**, insbesondere der Hysteresemodelle für die Grundwasserzu- und abströme, wurde anhand von 3 Kriterien jeweils für die Restseen Lohsa II und Burghammer durchgeführt:

- Verifizierung der Entwicklung des Gesamtvolumens,
- Verifizierung der Teilvolumenströme in Größe und Verlauf sowie
- Verifizierung der Entwicklung der Sulfatkonzentration im See.

Der Abgleich der aus den Bilanzmodellen berechneten Speichervolumen mit den realen Volumen (rückgerechnet aus den Wasserspiegeln) ist in Abbildung 31 für den Speicher Lohsa II und in Abbildung 32 für den Speicher Burghammer enthalten. Dargestellt ist jeweils die Volumenentwicklung mit den in IWB, 2014a dokumentierten Parametern der Grundwasserfunktionen sowie nach teilweiser Anpassung der Hysterese-Parameter. Abbildung 33 und Abbildung 34 zeigen ergänzend für zwei Bilanzbereiche die Umsetzung der Hysterese-Funktionen. Die Zu- bzw. Abströme im Bilanzbereich Kippe des Speichers Burghammer werden in Abhängigkeit von der Wasserspiegeldifferenz berechnet. Die maximalen Zu- bzw. Abstrommengen wurden erhöht sowie die Exponenten für den Zustrom wurden angepasst, um bis 2011 das Gesamtvolumen zu reduzieren und ab 2011 die beobachtete Volumenkurve anzupassen (s. Abbildung 34). Im Bilanzbereich Gewachsenes-Nordost des Speichers Lohsa II erfolgt nur Grundwasserabstrom, der mit der Hysterese-Funktion in Abhängigkeit vom Wasserspiegel berechnet wird. In diesem Bilanzbereich wurden sowohl die maximalen als auch die minimalen Abstrommengen angepasst, um insgesamt den Abstrom zu erhöhen. Oberhalb des Gleichgewichts-wasserstands wurden die Exponenten der Hysterese-Funktion erhöht, um den verstärkten Abstrom bei den Flutungsereignissen 2015 und 2016 abzubilden (s. Abbildung 33).

Zusätzlich zu diesen Betrachtungen erfolgte die Verifizierung der Stoffbilanzmodelle anhand der Teilvolumenströme in Größe und Verlauf analog zu den Auswertungen der Grund- und Oberflächenwasserbilanzen aus dem LMBV-Modell LUPLOH (s. Abbildung 35 und Abbildung 36 zum Speicher Lohsa II sowie Abbildung 37 und Abbildung 38 zum Speicher Burghammer). Bei der Gegenüberstellung ist zu beachten, dass die Modell-rechnungen mit Tageswerten erfolgten. Zudem haben die LMBV-Berechnungen den Datenstand Ende 2013, d.h. ab 2014 wurden Prognosen zu konstanten Einleitungen verwendet, die von der realen Entwicklung, wie sie in den Ergebnissen des Stoffbilanz-modells mit Datenstand bis April 2016 dargestellt ist, abweichen. Die Gegenüber-stellungen zeigen, dass die Größenordnungen und der Verlauf der einzelnen Grundwasserzu- und -abstrombereiche mit den angepassten Hysterese-Parametern sehr gut erfasst werden.

Die Abbildung 39 zeigt die Verifizierung der Sulfatkonzentrationen in den beiden Speicherseen. Mit den Stoffbilanzmodellen wird die beobachtete Entwicklung der Sulfat-konzentrationen sehr gut erfasst. Somit können im Sulfatprognosemodell die Speicher-bewirtschaftungen und deren Auswirkungen auf die Sulfatfrachten bzw. Ausleit-konzentrationen nachgebildet werden. Anfang/ Mitte 2015 gibt es jedoch eine Über-schätzung der Sulfatkonzentration im Speicher Burghammer um ca. 50 mg/l. In diesem Zeitraum wurde auch das Gesamtvolumen überschätzt und es konnte keine bessere Anpassung erreicht werden.

In der Abbildung 40 sind ergänzend die berechneten Sulfatfrachten für den Speicher Burghammer dargestellt.

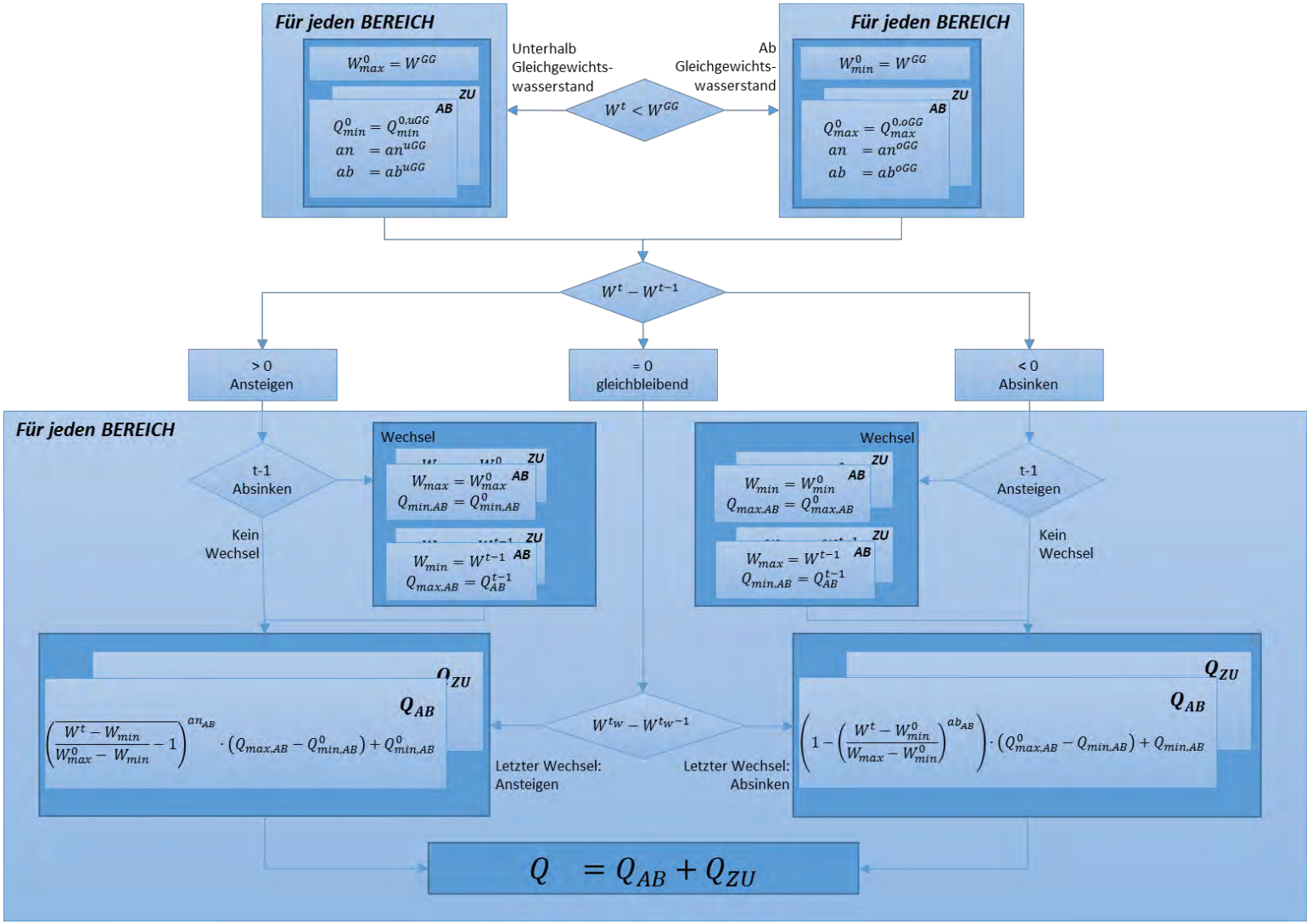


Abbildung 30: Umsetzung der Hysterese-Funktionen im Sulfatprognosemodell

Tabelle 30: Parameter der Hysterese-Funktionen für die Speicher Lohsa II und Burghammer

Teilbereich			Abstrom H(t) < H(GG) [m³/min]				Zustrom H(t) < H(GG) [m³/min]					Abstrom H(t) > H(GG)				Zustrom H(t) > H(GG)			
	H(GG) [m NHN]	Hmin [m NHN]	Qmin	Qmax	n	m	Qmin	Qmax	n	m	Hmax [m NHN]	Qmin	Qmax	n	m	Qmin	Qmax	n	m
Lohsall_AH_Scheibe	113.5	109.3	-2.0	0.0	3.0	2.0	2.0	5.8	3.0	1.2	116.4	-2.0	0.0	3.0	2.0	1.4	3.0	3.0	1.2
Lohsall_Gewachsenes_N	113.5	109.3	-13.6	-5.0	1.0	2.0	4.0	8.0	2.0	1.2	116.4	-13.6	-8.0	8.0	1.0	0.0	3.0	8.0	1.2
Lohsall_Gewachsenes_NO	113.5	109.3	-32.0	-22.0	1.0	4.0	0.0	0.0	3.0	1.2	116.4	-32.0	-24.0	8.0	4.0	0.0	0.0	3.0	1.2
Lohsall_Gewachsenes_O	113.5	109.3	-12.0	-8.0	1.0	2.0	0.0	1.1	6.0	1.0	116.4	-12.0	-5.0	8.0	2.0	0.0	1.0	8.0	1.2
Lohsall_Gewachsenes_W	113.5	109.3	-0.4	0.0	1.5	2.0	12.0	17.3	2.0	1.0	116.4	-6.0	0.0	8.0	2.0	0.0	3.0	3.0	1.2
Lohsall_Kippe_S	113.5	109.3	-0.4	0.0	7.0	2.0	5.0	8.0	3.0	1.2	116.4	-6.0	0.0	8.0	2.0	0.0	2.0	3.0	1.2
Lohsall_Kippe_SW	113.5	109.3	-0.2	0.0	0.7	2.0	12.0	18.0	3.0	1.2	116.4	-6.0	0.0	8.0	2.0	1.4	5.8	5.0	1.2
	dHmin [m]	dHmax [m]	Abstrom				Zustrom												
Burghammer_Hangendes_S	2	9	0.0	0.0	3.0	2.0	22.0	0.0	0.4	4.0									
Burghammer_Kippe	2	9	0.0	-17.0	8.0	1.4	32.0	10.0	7.8	8.0									
	Hmin [m NHN]	Hmax [m NHN]	Abstrom				Zustrom												
Burghammer_Hangendes_SW	107.5	109	0.0	0.0	1.0	2.0	8.3	15.0	2.0	1.9									
Burghammer_Hangendes_N	107.5	109	-4.8	-2.6	2.5	3.0	0.0	0.0	4.0	1.0									
Burghammer_Hangendes_NO	107.5	109	0.0	0.0	7.0	2.0	1.2	1.4	4.0	1.9									

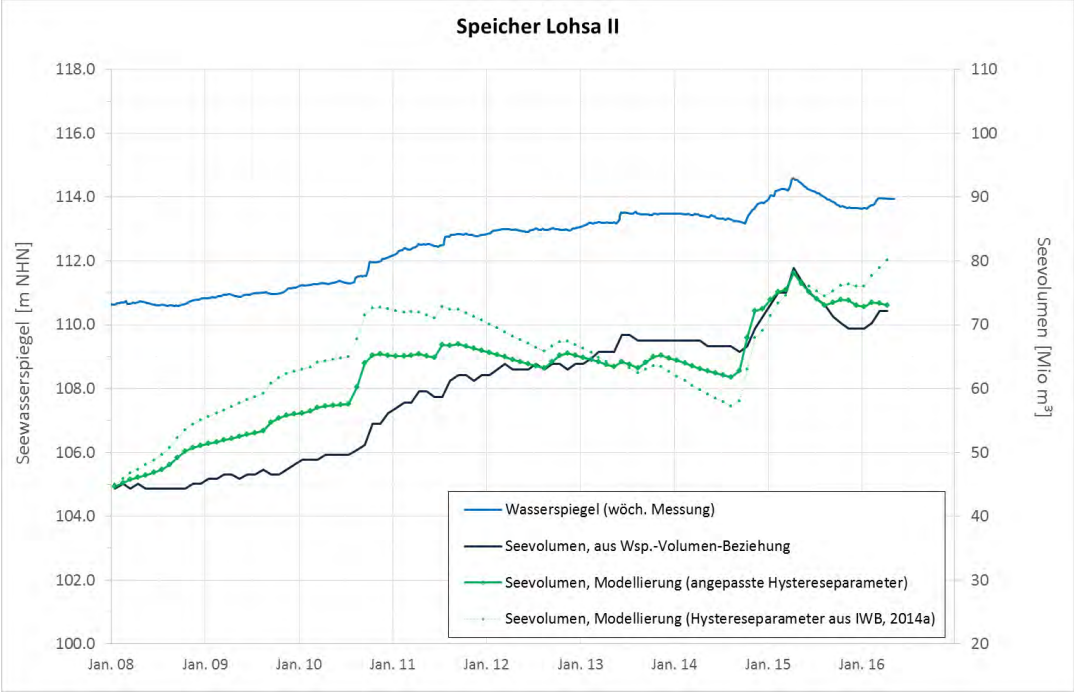


Abbildung 31: Verifizierung des Gesamtvolumens im Speicher Lohsa II

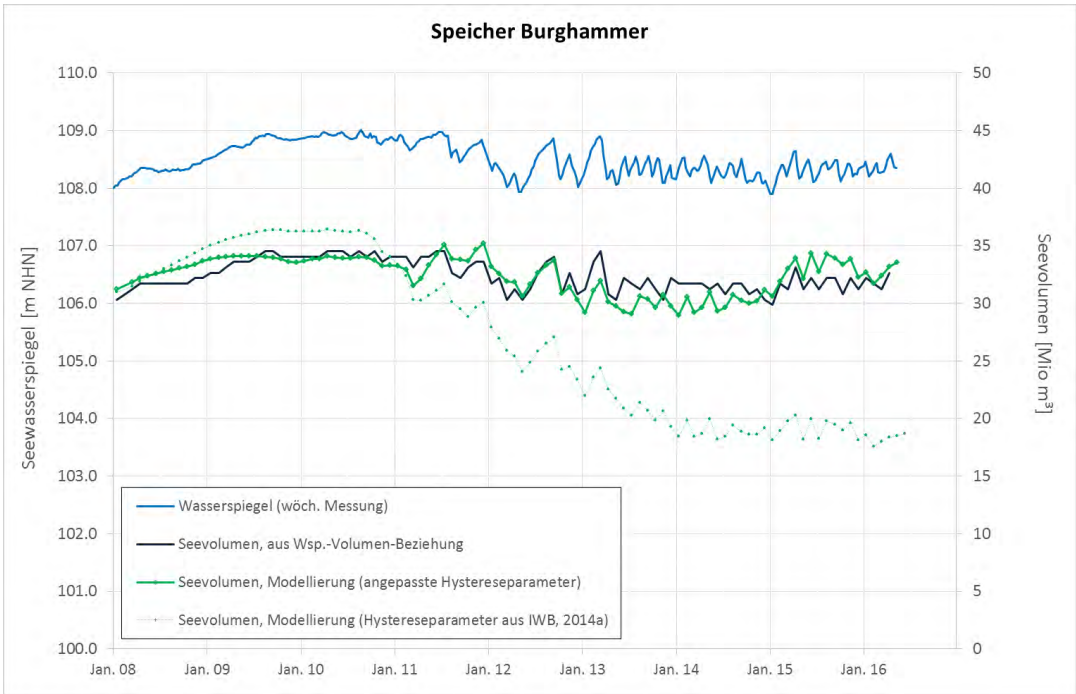


Abbildung 32: Verifizierung des Gesamtvolumens im Speicher Burghammer

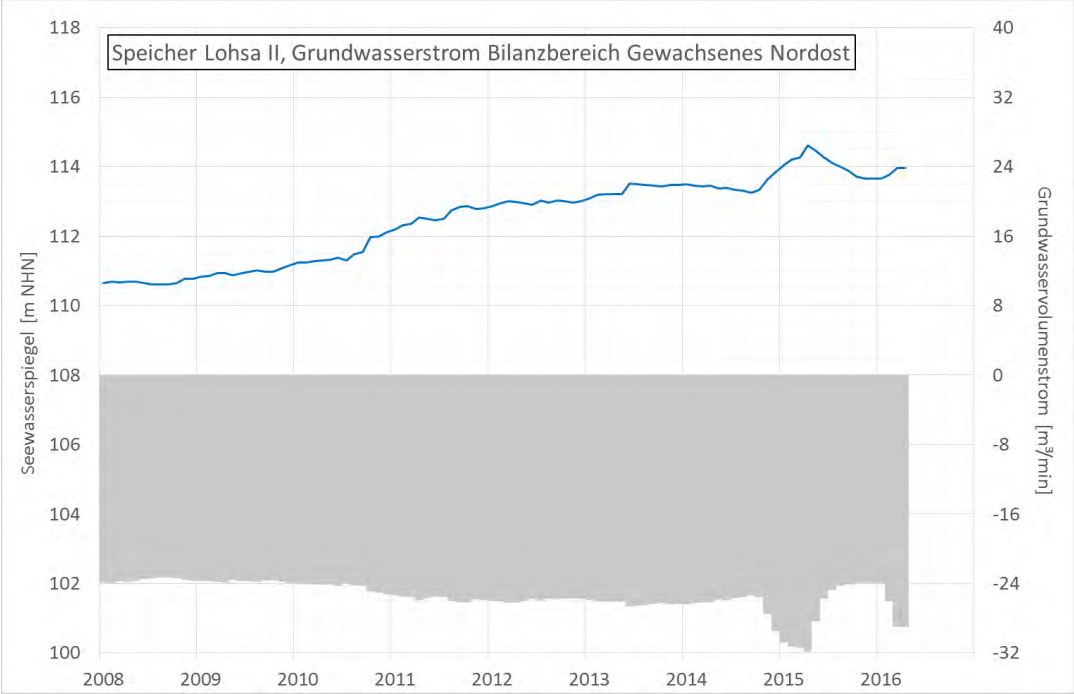


Abbildung 33: Beispiel zur Anpassung der Grundwasserfunktionen in einem Bilanzbereich des Speichers Lohsa II

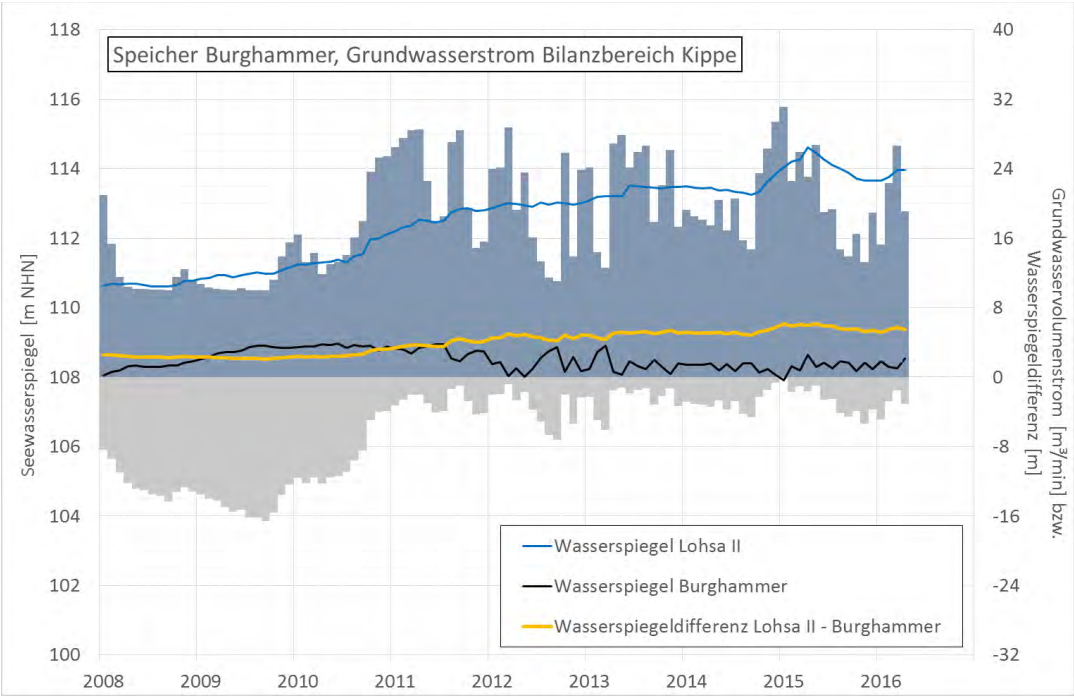


Abbildung 34: Beispiel zur Anpassung der Grundwasserfunktionen in einem Bilanzbereich des Speichers Burghammer

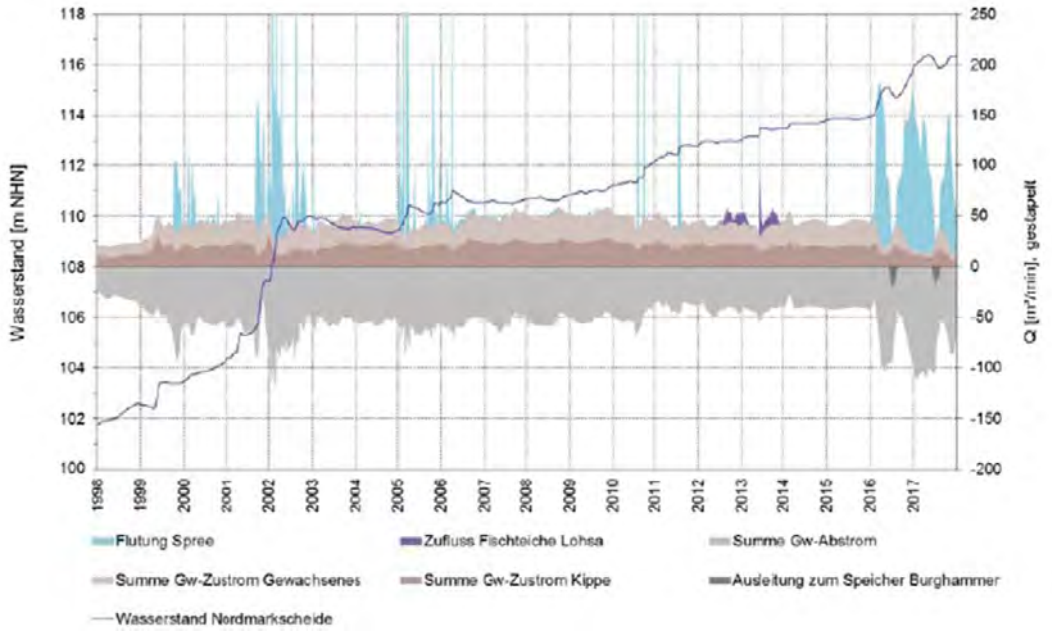


Abbildung 35: Wasserstandsganglinie sowie Grund- und Oberflächenwasserbilanz des Speichers Lohsa II ab 1998 (nach LMBV [2013], entnommen aus IWB [2014a])

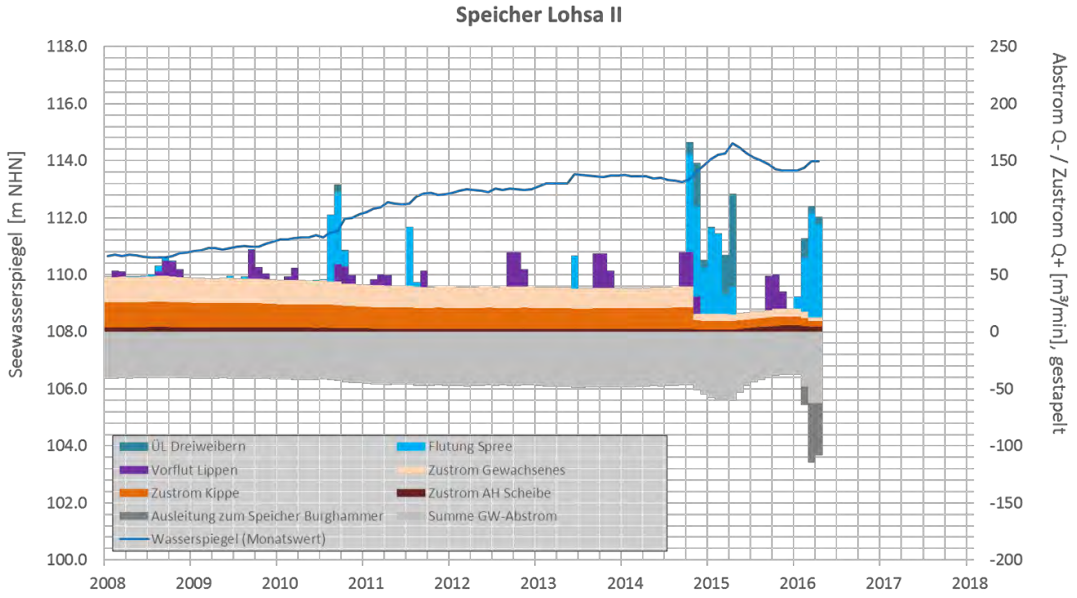


Abbildung 36: Grund- und Oberflächenwasservolumenströme des Stoffbilanzmodells für den Speicher Lohsa II ab 2008

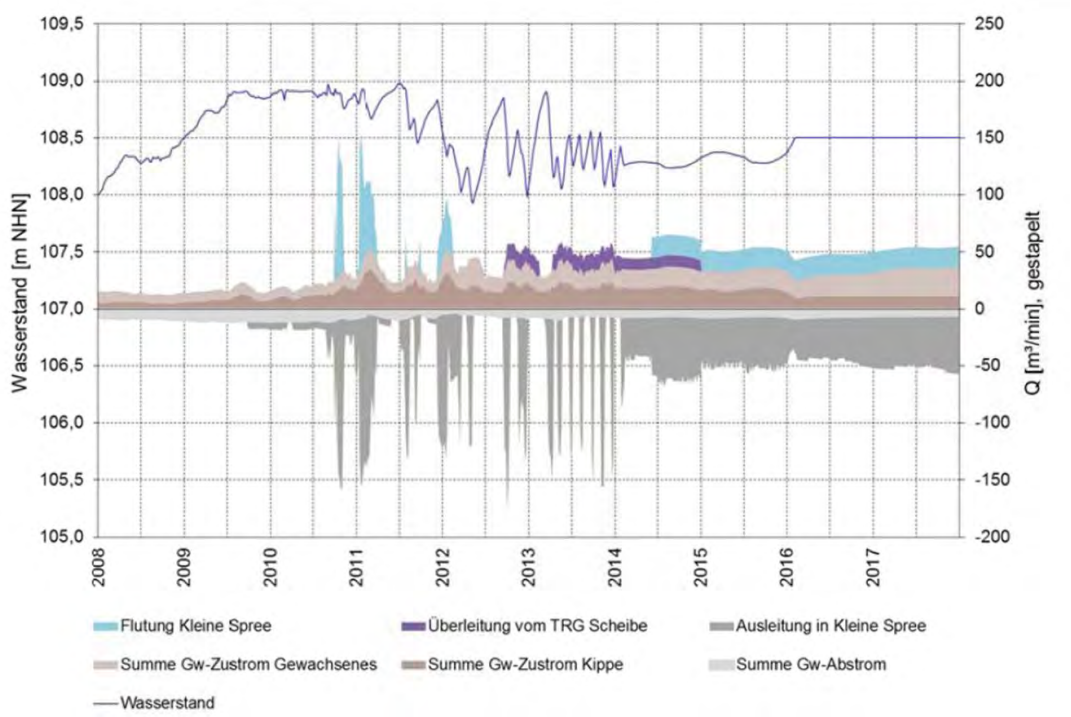


Abbildung 37: Wasserstandsganglinie sowie Grund- und Oberflächenwasserbilanz des Speichers Burghammer ab 2008 (nach LMBV [2013], entnommen aus IWB [2014a])

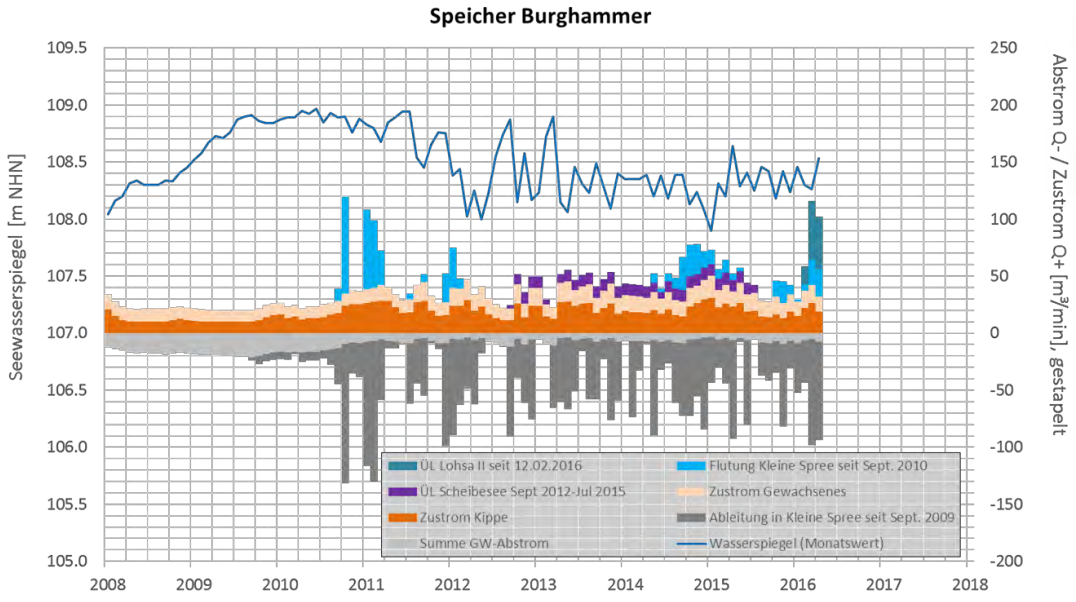


Abbildung 38: Grund- und Oberflächenwasservolumenströme des Stoffbilanzmodells für den Speicher Burghammer ab 2008

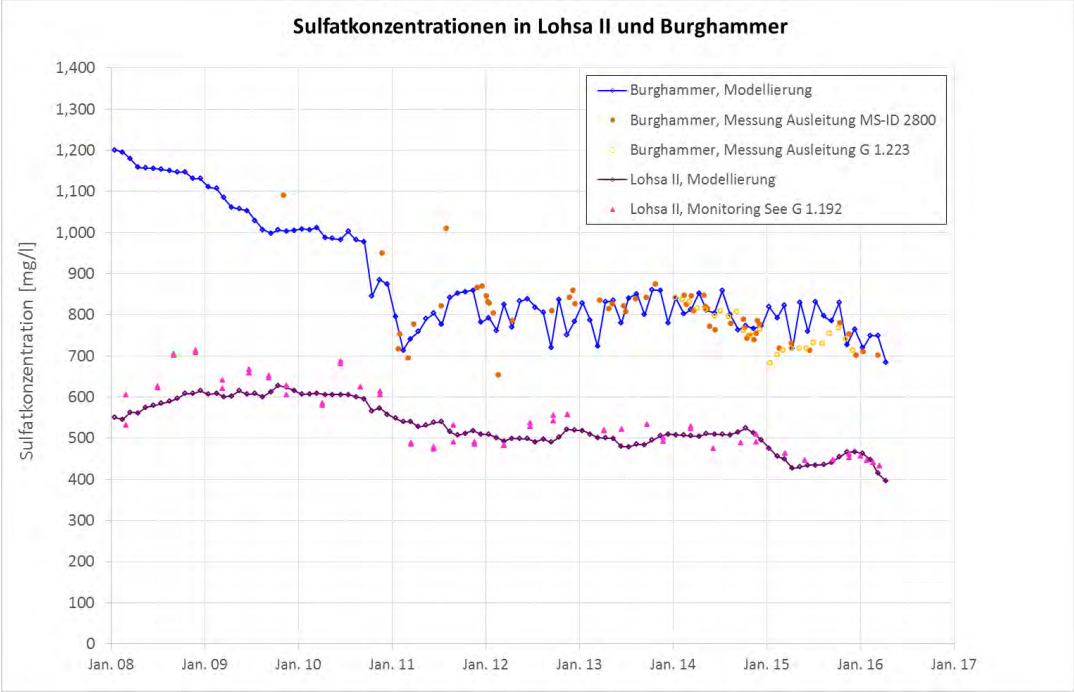


Abbildung 39: Berechnete und gemessene Sulfatkonzentrationen in den Speichern Lohsa II und Burghammer

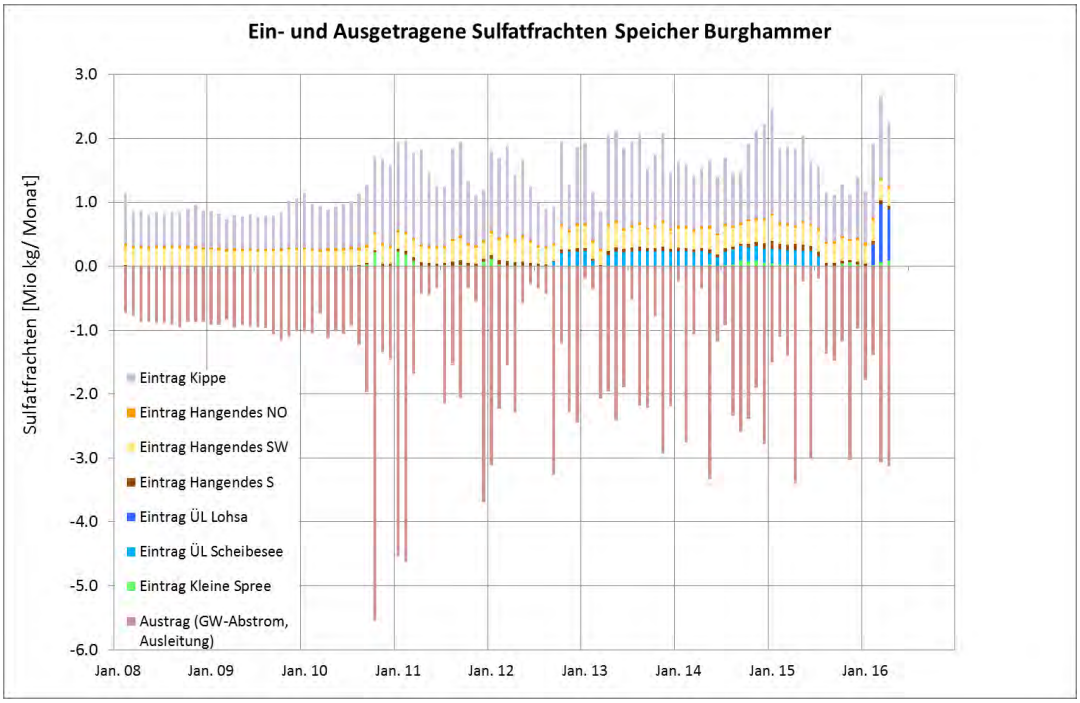


Abbildung 40: Berechnete Sulfatfrachten für den Speicher Burghammer

2.2.1.4 Diffuse natürliche und bergbauliche Einträge

Grundlagen, Konzept

Im Südraum sind die diffusen Grundwasserzutritte überwiegend bergbaulich beeinflusst. Es sind sowohl die Innenkippen und Außenhalden der Braunkohlentagebaue als auch die gewachsenen Grundwasserleiter, die während des Bergbaus von der Grundwasserabsenkung erfasst wurden, von der Pyritverwitterung betroffen. Da der Grundwasserwiederanstieg im Sanierungsbergbau der LMBV weit fortgeschritten bzw. bereits abgeschlossen ist, erfolgen seit ca. 2009/ 2010 zunehmend Grundwasserzutritte, die neben dem „sichtbaren“ Eisen (Gewässerverockerung) auch Säuren und vor allem Sulfat in die Fließgewässer eintragen. Da die diffusen Grundwasserzuflüsse direkt zur Spree und zur Kleinen Spree erfolgen bzw. aus lokalen Entwässerungsgräben eingetragen werden, sind die Stofffrachten des Grundwassers als Einträge hier (im Gegensatz zum Nordraum) gesondert zu bilanzieren. Die Tabelle 31 enthält eine Zusammenstellung der aktuellen Kenntnisse bzw. den Datenstand zu den diffusen Sulfateinträgen im Südraum. Grundlagen bilden die Messungen und Bilanzierungen sowie Berechnungen in den folgenden Berichten:

- In IWB, 2012 a & b wurden vor allem im Zusammenhang mit den erhöhten Eisenkonzentrationen der Spree seit 2009 die diffusen Stoffeinträge in die Kleine Spree und Spree durch umfangreiche Messungen und Auswertungen untersucht und die Zutrittsbereiche, die Quellstärken und die Eisen- und Sulfateinträge erfasst.

- In IWB (2015) erfolgte in Rahmen der „Bewertung der hydrologischen Verhältnisse und der Sulfatkonzentrationen in der Spree in den Jahren 2014/2015 vom Bereich Neustadt Ruhlmühle im Freistaat Sachsen bis in den Berliner Raum“ eine Zusammenstellung zu diffusen Einträgen im Südraum (s. Tab. 5, S. 58).

- In IWB (2016) wurden im Rahmen der Erarbeitung des Rahmenbetriebsplans für den Tagebau Welzow TF 2 Prognosen zu diffusen Zuflüssen zur Spree ab 2016 bis 2100 durchgeführt. Die Prognosen umfassen im Südraum den Eintrag im Abstrom der Speicherseen und im Spreeabschnitt zwischen Spreewitz und Spremberg.

Die vorliegenden Angaben wurden zusammengestellt und abgeglichen, um sowohl einen Modellansatz für die aktuellen diffusen Sulfateinträge als auch zur Entwicklung dieser derzeit bekannten Stoffeinträge für das Sulfatprognosemodell abzuleiten.

Es sind folgende Eintrittsbereiche mit bergbaulichen Stoffeinträgen mit Werten zu Zutrittsmengen und Sulfatkonzentrationen bekannt:

- diffuser Eintrag Abstrom Bärwalde,
- diffuser Eintrag Abstrom Lohsa,
- Punkteinleiter Altarm Ruhlmühle,
- Punkteinleiter Graben Neustadt,
- diffuser Eintrag Burghammer bis Spreewitz,
- Punkteinleiter Alter Mühlgraben Zerre,
- diffuser Eintrag zwischen Spreewitz und der Talsperre Spremberg.

Die wesentlichen Sulfateinträge erfolgen aus der Spreewitzer Rinne im Abstrom Lohsa zur Spree im Bereich zwischen dem Altarm der Spree am Wehr Ruhlmühle und Spreewitz im Abstrom Burghammer zur Kleinen Spree. Hohe Sulfatfrachten werden zudem durch den Alten Mühlgraben Zerre sowie ab dem Mühlgraben bis zur Talsperre Spremberg in die Spree eingetragen.

Tabelle 31: Übersicht zum Kenntnisstand der diffusen Sulfateinträge im Südraum und zur Ableitung der Modellansätze

Fließgewässer	aus IWB (2015): "Fallanalyse der Sulfatbelastung in die Spree 2014/2015", Tab. 5, S. 58							ermittelt aus IWB (2016): "Prognose der diffusen Sulfateinträge in die Fließgewässer als Grundlage für die Sulfatprognose der Spree bis 2100"				Ansatz im Modell		
	Einleiter bzw. Gewässerabschnitt	Erfassungsmethode, Quelle	Mittlere Sulfat-konzentration	Mittlerer Volumen-strom	Mittlere Sulfatfracht			Sulfatfracht 2016		Sulfatkonzen-tration 2016 (IST 2013-2015)	Volumen-strom 2016	Ansatz Modell Verifizierung (IST 2013-2015)		Ansatz Modell Prognose
			mg/l	l/s	t/a			t/ Monat	t/ Jahr	mg/l	l/s	t/ Monat	t/ Jahr	Q, c
					nach [1]	nach [2]	aus Q*c	aus Diagramm abgelesen		berechnet aus Fracht				
Schwarzer Schöps	Diffuser Eintrag Abstrom Bärwalde	IWB (2016)						17	200	800[3]* (700)	8*	15	175	Q = 8 l/s, c = f(t)
Spree	Punkteinleiter Altarm Ruhlmühle	Direkte Messung	620	120	2,200		2,346					196	2,353	Q = 120 l/s, c = 620 mg/l
	Punkteinleiter Graben Neustadt	Direkte Messung	1100	16	600		555					46	557	Q = 16 l/s, c = 1100 mg/l
	Diffuser Eintrag Altarm Ruhlmühle bis Spreewitz	Bilanzen des geohydraulischen Modells LMBV	600 - 800	200 – 500		7,700	3,784 - 12,614					656	7,868	Q = 518 l/s, c = f(t)
	Diffuser Eintrag Abstrom Lohsa II, Abschnitte b+c	IWB (2016)						675	8,100	520[3] (480)	518			
	Diffuser Eintrag Abstrom Lohsa II, Abschnitt a	IWB (2016)						33	400					
Kleine Spree	Diffuser Eintrag Burghammer bis Spreewitz	Direkte Messung und inverse Modellierung	600 - 800	200 – 300		5,500	3,784 - 7,569					501	6,016	Q = 238 l/s, c = f(t)
	Diffuser Eintrag Abstrom Burghammer	IWB (2016)						625	7500**	1000[3] (800)	238			
Spree	Punkteinleiter Alter Mühlgraben Zerre	Direkte Messung	440	450	6,500		6,244					522	6,261	Q = 450 l/s, c = 440 mg/l
	Diffuser Eintrag zwischen Spreewitz und der Talsperre Spremberg	IWB (2016)						375	4,500	340	420[4]	376	4,512	Q = f(t), c = 340 mg/l
Summe EQ Spremberg-Wilhelmsthal												**2,312**	**27,742**	

[1] berechnet aus den Wertepaaren des Durchflusses und der Sulfatkonzentration

[2] berechnet aus den Mittelwerten des Durchflusses und der Sulfatkonzentration

[3] berechnet aus der Fracht und der Anfangs-Konzentration 2016

[4] berechnet aus der Fracht und der Anfangs-Exfiltration 2016

* Anfangskonzentrationen sind zwar nach Zustrombereichen sowie Gewachsenes und Kippe differenziert genannt - da die Eintragssumme insgesamt gering ist, erfolgt hier keine differenzierte Betrachtung

** incl. Anteil des Abschnitts c in die Spree mit ca. 1000 t/a

Die Abbildung 41 zeigt eine Übersichtskarte zu den Eintragsbereichen. Die Karte wurde aus dem Prognosegutachten für Welzow TF 2 (IWB, 2016) entnommen und hat den Kenntnisstand von 2012. Deshalb wurden Ergänzungen anhand der oben genannten Daten vorgenommen. Es wurden die Punkteinleitungen eingetragen. Zudem gibt es neue Berechnungen zu den diffusen Einträgen zwischen Spreewitz (nach Mündung Kleiner Spree) bis zur Talsperre Spremberg, die in der Grafik von 2012 noch nicht enthalten sind (IWB, 2016). Der Spreeabschnitt wurde in zwei Teilabschnitte gegliedert. Der erste Teilabschnitt reicht von der Einmündung der Kleinen Spree bis zur Einmündung des Mühlgrabens und entspricht dem Zustrombereich (a) Spreetal NO in der Abbildung. Der zweite Teilabschnitt reicht dann vom Mühlgraben bis zur Talsperre Spremberg. In beiden Teilabschnitten wird zudem zwischen dem Zustrom aus Ost (rechtseitig) und West (linksseitig) unterschieden. Die Grafik enthält auch die in IWB (2016) vorgenommene Differenzierung der Abstrombereiche aus den Tagebauseen. Die Abstrombereiche sind jeweils mit gleicher Anfangssulfatkonzentration belegt, deren Entwicklung dann mit Rückgangsfunktionen prognostiziert wurde. Die verschiedenen Frachten resultieren aus unterschiedlich angesetzten Quellstärken in den Abstromabschnitten (s. Abbildung 42). So erfolgt der Abstrom Lohsa II hauptsächlich in den Spreeabschnitt (c) ab Neustadt Ruhlmühle. Der größte Sulfateintrag im Abstrom Burghammer erfolgt im Abschnitt (b) in die Kleine Spree. Für das Sulfatprognosemodell wurden die Abstrombereiche nicht differenziert. Aus den vorliegenden Abbildungen wurden die Sulfatfrachten je Gesamtabstrombereich abgelesen und mit der Anfangskonzentration die Zutrittsmengen rückgerechnet. Da den Prognoserechnungen in IWB, 2016 jeweils zeitlich konstante Zutrittsmengen für den Abstrom Bärwalde, Lohsa II und Burghammer zugrunde liegen, konnten Ganglinien zur Prognose der Sulfatkonzentration der diffusen Zutritte für 2016 - 2100 rückgerechnet werden. Für den Verifizierungszeitraum 2013 – 2015 wurden im Abgleich mit den o.g. Auswertungen aus Stichtagsmessungen und Bilanzierungen etwas geringere Sulfatkonzentrationen belegt. Im Spreeabschnitt ab Spremberg sind in IWB, 2016 die Sulfatkonzentrationen konstant angesetzt, so dass hier die prognostizierte Entwicklung der Zutrittsmengen rückgerechnet werden konnte.

In der Tabelle 31 sind die Datengrundlagen sowie die abgeleiteten Modellansätze für das Sulfatprognosemodell zusammenfassend dargestellt.

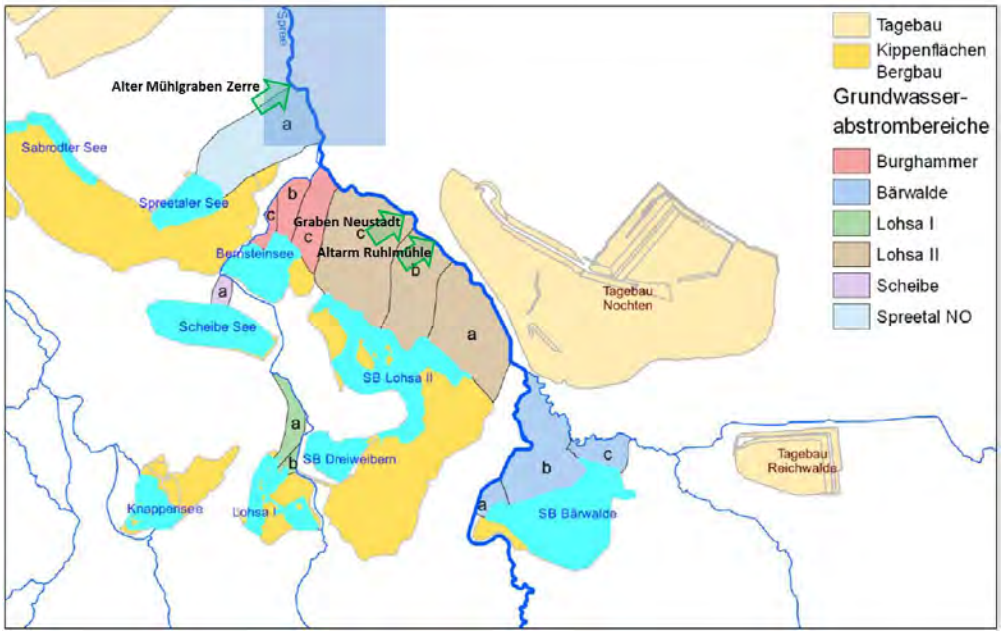
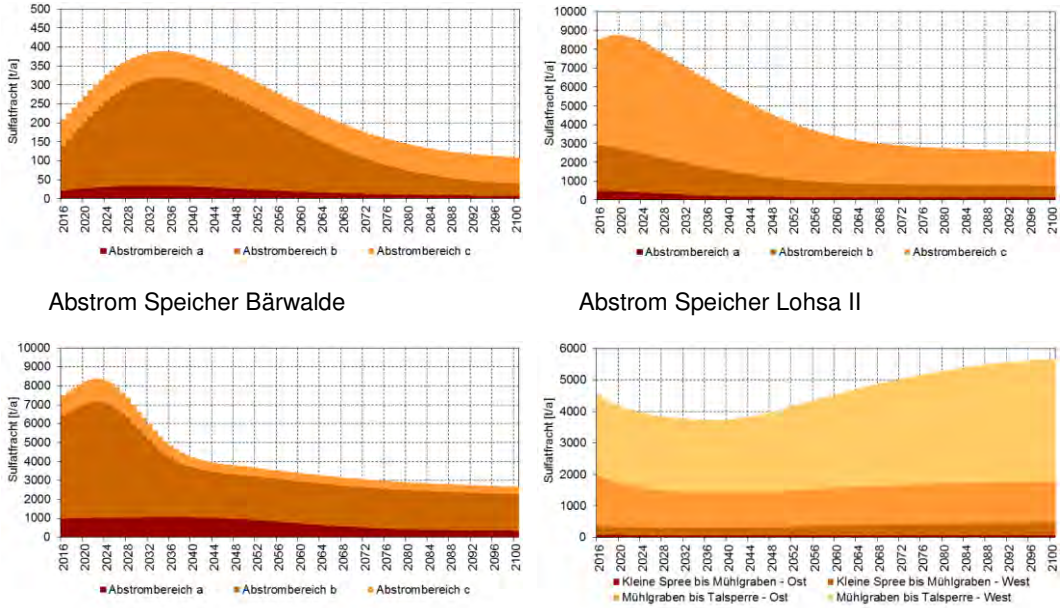


Abbildung 41: Übersichtskarte zu den diffusen Sulfateinträgen im Südraum (aus IWB [2016], angepasst)



Abstrom Speicher Bärwalde

Abstrom Speicher Lohsa II

Abstrom Speicher Burghammer

Abstrom Spreewitz bis Talsperre Spremberg

Abbildung 42: Prognostizierte Jahressummen der diffusen Sulfateinträge im Abstrom der Speicher Bärwalde, Lohsa II und Burghammer sowie im Spreeabschnitt zwischen Spreewitz und der Talsperre Spremberg für die Jahre 2016 bis 2100, gegliedert jeweils nach den Abstrombereichen (aus IWB [2016])

Umsetzung im Sulfatprognosemodell

Ergänzend zur Übersichtstabelle mit dem Kenntnisstand und den abgeleiteten Modellansätzen sind in den Diagrammen in Abbildung 43 bis Abbildung 45 die im Sulfatprognosemodell realisierten

- Sulfatkonzentrationen,
- Zutrittsmengen und
- Sulfatfrachten

der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum für 2013 bis 2100 dargestellt.

Aufgrund des Kenntnisstandes werden die diffusen Sulfateinträge unabhängig von den Stauspiegeln in den Speichern sowie den hydro-meteorologischen Verhältnissen im Sulfatprognosemodell angesetzt. Ein hoher Stauspiegel in Lohsa II wird sich in der Regel nur kurzfristig einstellen, die Wirkungen eines hohen Stauspiegels auf den Grundwasserabstrom sind deshalb in ihrer räumlichen und zeitlichen Auswirkung begrenzt (IWB, 2015b).

Entsprechend der Auswertungen werden aktuell ca. 900 t Sulfat/ Monat im Mittel in die Spree bis Spreewitz eingetragen. Mehr als 70% der Sulfatfracht (656 t/ Monat) stammen aus dem Abstrom Lohsa. Der Grundwasserzufluss liegt hier im Mittel bei ca. 0,5 m³/s, die mittlere Sulfatkonzentration des Abstrombereichs wird mit 520 mg/l angegeben. Weitere ca. 20 % der Sulfatfracht (196 t/ Monat) stammen aus dem Altarm Ruhlmühle, der mit einem mittleren Zufluss von 0,12 m³/s und 620 mg/l Sulfat im Modell angesetzt wird. Die Sulfatfrachten aus dem Abstrom Bärwalde und Graben Neustadt sind aufgrund der kleinen Zutrittsmengen gering. In die Kleine Spree werden ca. 500 t Sulfat/ Monat eingetragen. Der Abstrom Burghammer liegt im Mittel bei ca. 0,25 m³/s, die mittlere Sulfatkonzentration des Abstrombereichs wird mit 800 mg/l angegeben. Im Spreeabschnitt zwischen Spreewitz und der Talsperre Spremberg erfolgen relevante Sulfateinträge durch den Alten Mühlgraben Zerre mit ca. 522 t/ Monat sowie durch diffuse Zutritte mit im Mittel 376 t/ Monat. Insgesamt werden im IST-Zustand im Südraum bis zur

Talsperre Spremberg im Mittel 2312 t/ Monat Sulfateintrag durch diffuse bergbauliche Zutritte im Modell berücksichtigt. Die bergbaulichen Grundwasserzuflüsse werden mit 1,77 m³/s angesetzt. Für die Zukunft wird im Sulfatprognosemodell einigen Grundwasser-zutritten eine Ganglinie zur Entwicklung der Sulfatkonzentration u./o. zur Quellstärke hinterlegt. Alle anderen Ansätze bleiben konstant. Das Maximum der derzeit bekannten Einträge im Südraum wird für ca. 2020 prognostiziert (2561 t/ Monat). Langfristig nehmen die diffusen Sulfateinträge auf ca. 1700 t/ Monat ab.

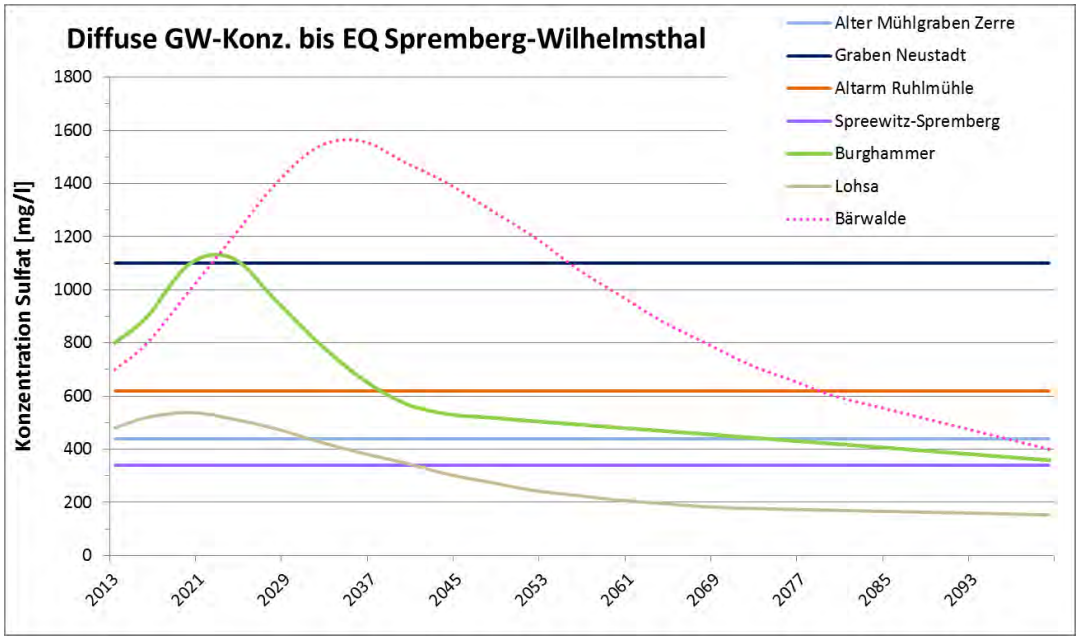


Abbildung 43: Sulfatkonzentrationen der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum

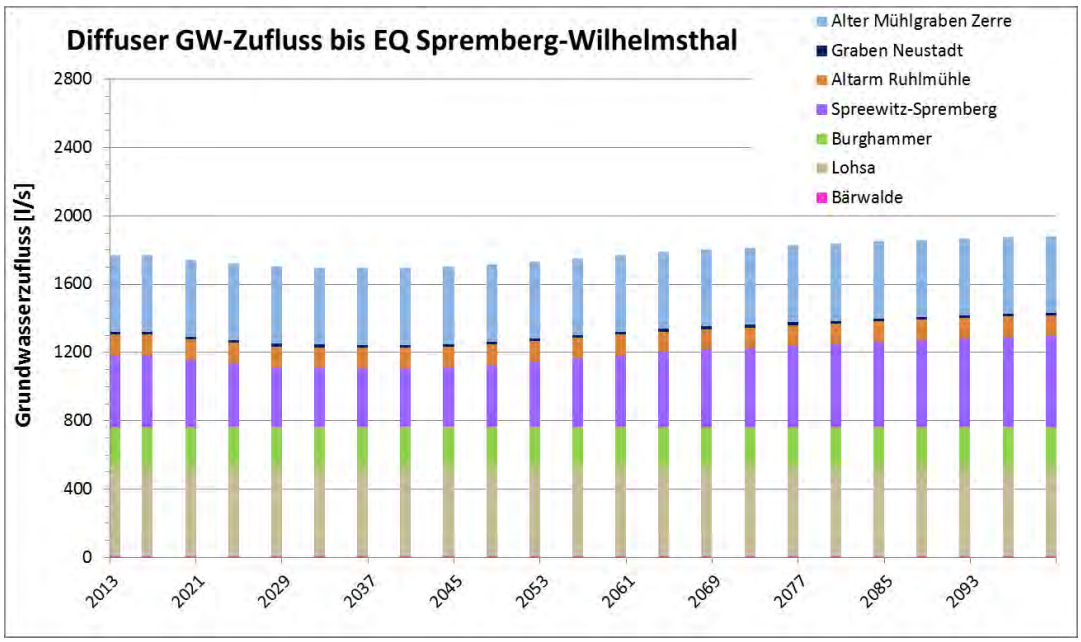


Abbildung 44: Zutrittsmengen der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum

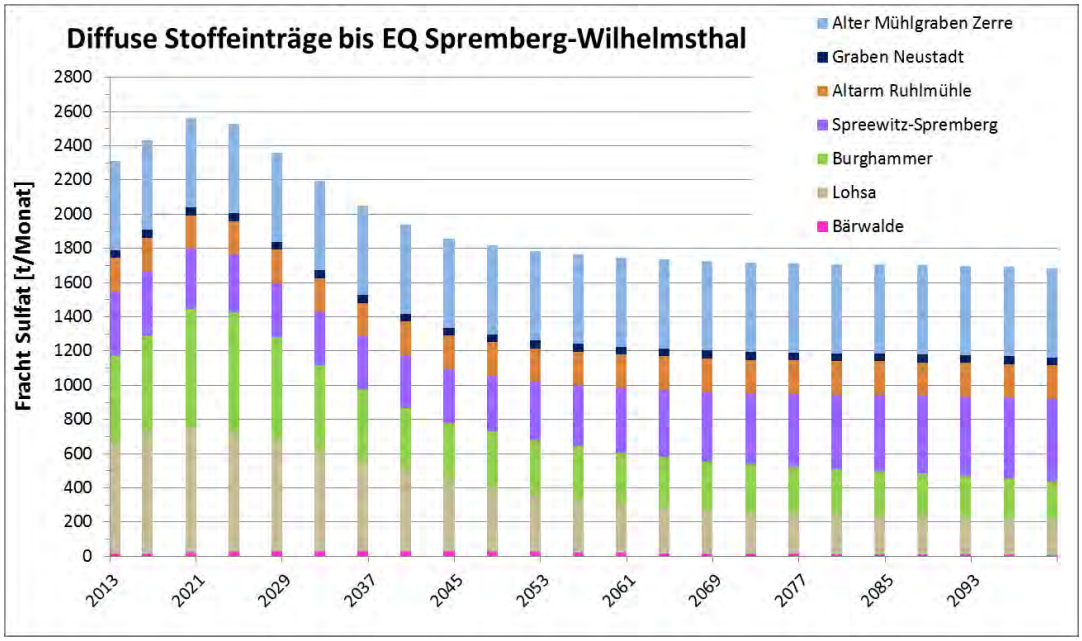


Abbildung 45: Sulfatfrachten der der diffusen bergbaulichen Einträge im Südraum

Im Abschnitt 2.2.1.5 wird gezeigt werden, dass der Umfang der diffusen bergbaulichen Einträge offensichtlich variabel ist und u. a. von langfristigen Trockenwettersituationen bestimmt wird. Da diese Zusammenhänge derzeit nicht mit Modellen belegt werden können, ist eine szenariobasierte Einbeziehung eine geeignete Möglichkeit, die Unsicherheit über den Umfang der diffusen bergbaulichen Einträge zu berücksichtigen.

Zugleich fehlen modellbasierte Aussagen darüber, mit welcher Sulfatkonzentration der aus dem Niederschlag des Einzugsgebiets stammende diffuse Eintrag erfolgt. Einerseits kann er als Teil des bergbaulichen Eintrages mit gleicher Sulfatkonzentration oder als verdünnende Komponente angenommen werden.

Um beiden Aspekten Rechnung zu tragen, können im Sulfatprognosemodell folgende Annahmen variiert und kombiniert werden:

- Die diffusen natürlichen Einträge erfolgen mit der Sulfatkonzentration der Hintergrundbelastung für den betreffenden Flussabschnitt (Kleine Spree, Hauptspree, Schöps).
- Die diffusen natürlichen Einträge erfolgen mit der Sulfatkonzentration der für den Flussabschnitt zutreffenden Sulfatkonzentration der diffusen bergbaulichen Einträge.
- Die diffusen bergbaulichen Einträge treten im vollen Umfang auf.
- Die diffusen bergbaulichen Einträge sind nicht wirksam.

Die maximale Erhöhung der Sulfatfrachten erfolgt für die Kombination Anstrich 2 und 3, die geringste mit den Anstrichen 1 und 4.

2.2.1.5 Zusammenführung der Eintragsmodule

Die Verifizierung der Eintragsmodule erfolgt für den Abfluss, die Sulfatfracht und die Sulfatkonzentration an relevanten Fließgewässerquerschnitten bzw. im Vergleich mit Messwerten an den Gewässerpegeln. Für den Verifizierungszeitraum 2013 bis 2015 wurden die Abflüsse und Sulfatfrachten als Monatsmittelwerte berechnet. Mit der vorgenommen Frachtbilanzierung können die Anteile der einzelnen Einflussfaktoren an der Sulfatkonzentration ausgewiesen werden.

Die Abbildung 46 zeigt die bis zum Pegel Boxberg/ Schwarzer Schöps für die Frachtbilanzierung betrachteten Einleitungen und Entnahmen (als Monatsmittelwerte). In der Abbildung 47 sind die berechneten monatlichen Sulfatfrachten im Verifizierungszeitraum 2013 bis 2015 dargestellt. Die Abbildung 48 zeigt die berechneten Sulfatkonzentrationen im Schwarzen Schöps nach dem Zulauf Bärwalder See sowie am Pegel Boxberg. Die Gegenüberstellung der Modellergebnisse mit den Messwerten (1-3 Stichtagswerte monatlich) nach dem Zulauf Bärwalder See zeigt eine gute Übereinstimmung und somit Bestätigung der gewählten Modellansätze.

Die gemeinsame Betrachtung der berechneten Abflüsse sowie Sulfatfrachten und -konzentrationen zeigt, dass die Sulfatkonzentration im Schwarzen Schöps maßgeblich von der Ausleitung der GWBA Kringelsdorf bestimmt wird. In Niedrigwasserperioden entstammen bis zu 95 % des Durchflusses am Pegel Boxberg aus der GWBA Kringelsdorf. Dann entspricht die Sulfatkonzentration des Schwarzen Schöps nahezu der Sulfatkonzentration am Ausleiter der GWBA Kringelsdorf. (s. Niedrigwasserperiode zwischen Februar und August 2014). Bei höheren Zuflüssen aus dem Einzugsgebiet, wie z. B. zwischen Januar und Oktober 2013 sowie September/ Oktober 2014, wird die Sulfatkonzentration im Schwarzen Schöps verdünnt. Die Ausleitung aus dem Bärwalder See wirkt in Niedrigwasserperioden mit einer hohen Sulfatvorbelastung des Schwarzen Schöps verdünnend auf die Sulfatkonzentration. Die Entnahmen des Kraftwerks Boxberg führen zu einer Erhöhung der Sulfatkonzentration im Schwarzen Schöps. Dies zeigt die Gegenüberstellung der Sulfatkonzentrationen nach dem Zulauf Bärwalder See und am Pegel Boxberg. Dazwischen erfolgt die Entnahme und Rückleitung über das EB des KW Boxberg, die Entnahme ist höher als die Rückleitung.

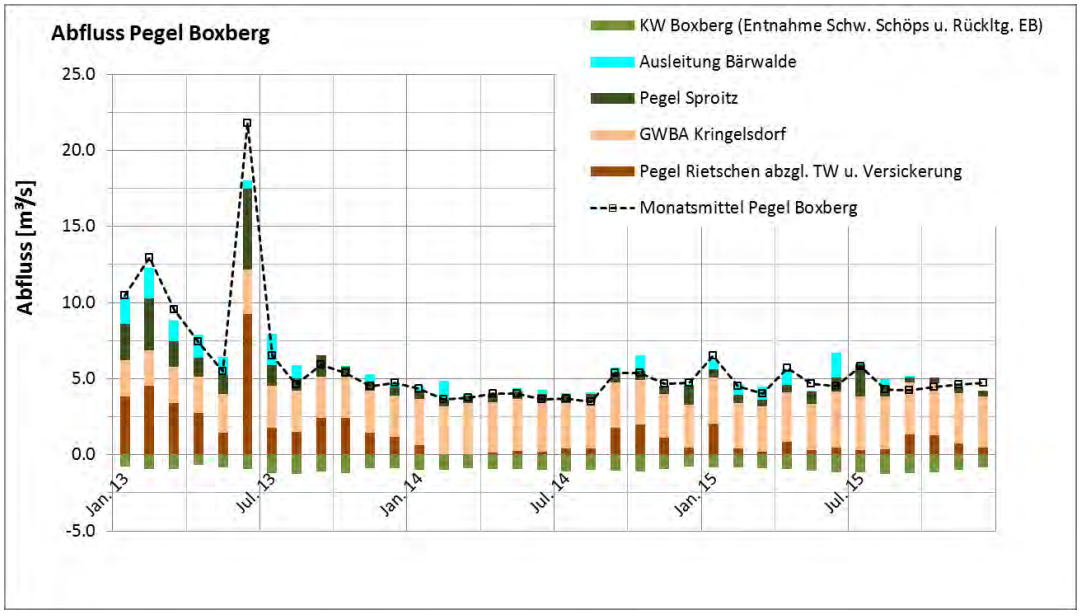


Abbildung 46: Für die Frachtbilanzierung berücksichtigte Einleitungen und Entnahmen am Pegel Boxberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

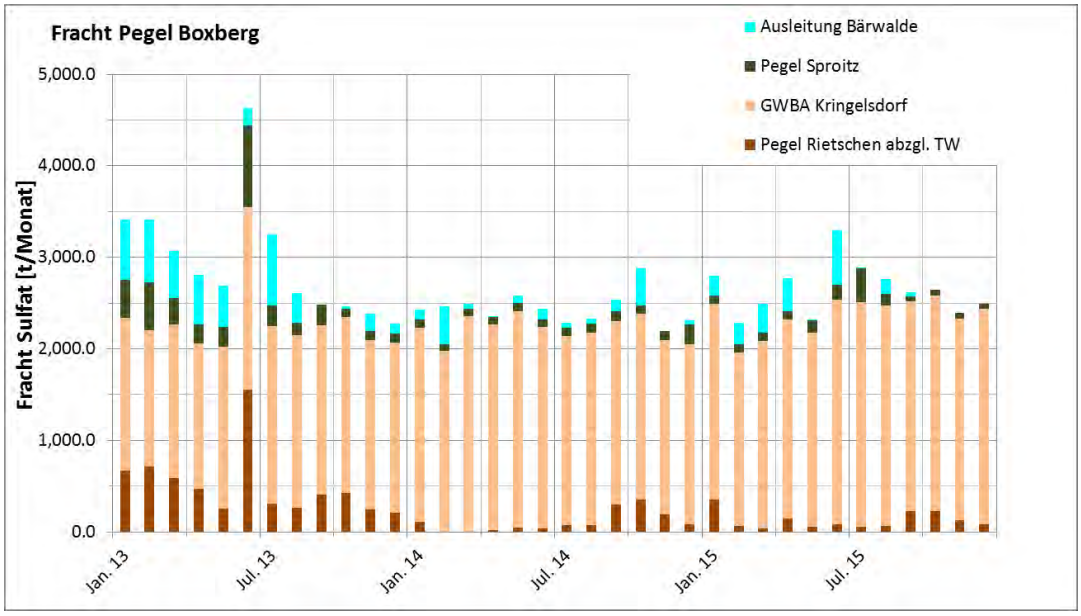


Abbildung 47: Berechnete Sulfatfrachten am Pegel Boxberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

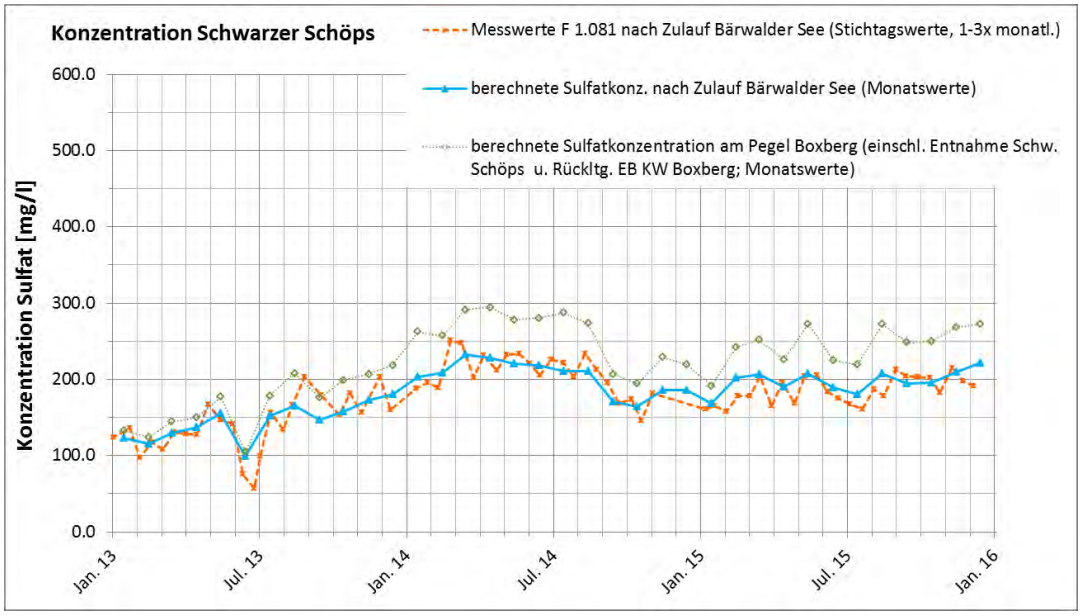


Abbildung 48: Berechnete Sulfatkonzentrationen im Schwarzen Schöps im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

Die Abbildung 49 zeigt die für die Frachtbilanzierung der Kleinen Spree betrachteten Zuflüsse (als Monatsmittelwerte). Die Gegenüberstellung mit dem gemessenen Abfluss am Pegel Burgneudorf – der vor der Mündung in die Kleine Spree liegt – zeigt eine gute Übereinstimmung. In der Abbildung 50 sind die berechneten monatlichen Sulfatfrachten im Verifizierungszeitraum 2013 bis 2015 dargestellt. Die Abbildung 51 enthält die berechneten Sulfatkonzentrationen in der Kleinen Spree. Die Gegenüberstellung der Modellergebnisse (Monatsmittelwerte) mit den Messwerten am Pegel Burgneudorf sowie an der Mündung in die Kleine Spree (ab 2015, ca. 5 - 15 Messwerte monatlich) zeigt eine gute Übereinstimmung und somit Bestätigung der gewählten Modellansätze, insbesondere zu den Sulfateintragsmodulen für das Wasserspeichersystem Lohsa II mit dem

Ausleiter Burghammer sowie zu den diffusen bergbaulichen Zutritten in die Kleine Spree. In der Abbildung wurden zudem die modellierten Sulfatkonzentrationen mit und ohne Berücksichtigung der diffusen, sulfatbelasteten Grundwasserzutritte dargestellt. Der Einfluss der diffusen Sulfateinträge wird besonders in den Perioden mit geringer oder ohne Ausleitung aus dem Speicher Burghammer deutlich, wie z.B. Januar und April 2014 sowie Mai und Juli 2015. Mit dem Modell wird dies sehr gut erfasst, wie z.B. die der Vergleich mit den Messwerten 2015 zeigt.

Die Sulfatkonzentration an der Mündung der Kleinen Spree wird von der Ausleitung des Speichers Burghammer und von den diffusen bergbaulichen Grundwasserzutritten beeinflusst. Stromoberhalb vom Ausleiter Burghammer liegt die Sulfatkonzentration der Kleinen Spree bei ca. 65 bis 70 mg/l. Wird aus dem Speicher Burghammer Wasser ausgeleitet, erhöht sich die Sulfatkonzentration in der Kleinen Spree stromunterhalb des Ableiters. Der Anstieg der Sulfatkonzentration hängt dabei vom Durchfluss der Kleinen Spree im Oberlauf und dem sich daraus ergebenden Mischungsverhältnis mit der Ausleitmenge ab. Bei geringen Abflüssen dominiert die Ausleitung des Speichers Burghammer, wie z. B. zwischen Mai und Dezember 2014. Bei höheren Durchflüssen in der Kleinen Spree wird das ausgeleitete Wasser sowie die Grundwasserzuflüsse stärker verdünnt und die Sulfatkonzentration im Unterlauf ist entsprechend geringer, wie z. B. zwischen Januar 2013 und Oktober 2013 mit Sulfatkonzentrationen zwischen 100 und 200 mg/l an der Mündung der Kleinen Spree. Bei geringen Durchflüssen in der Kleinen Spree kann die Sulfatkonzentration an der Mündung allein durch die diffusen Grundwasserzutritte bis auf 300 – 350 mg/l ansteigen (s. z.B. Juli 2015 in den Messwerten und im Modellergebnis).

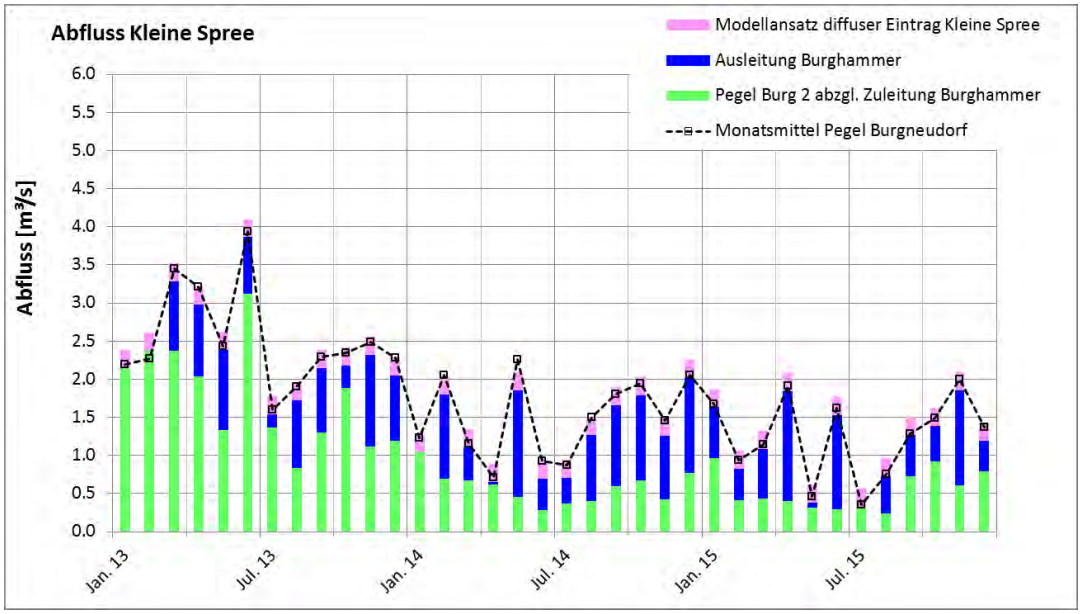


Abbildung 49: Berechneter und gemessener Abfluss in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

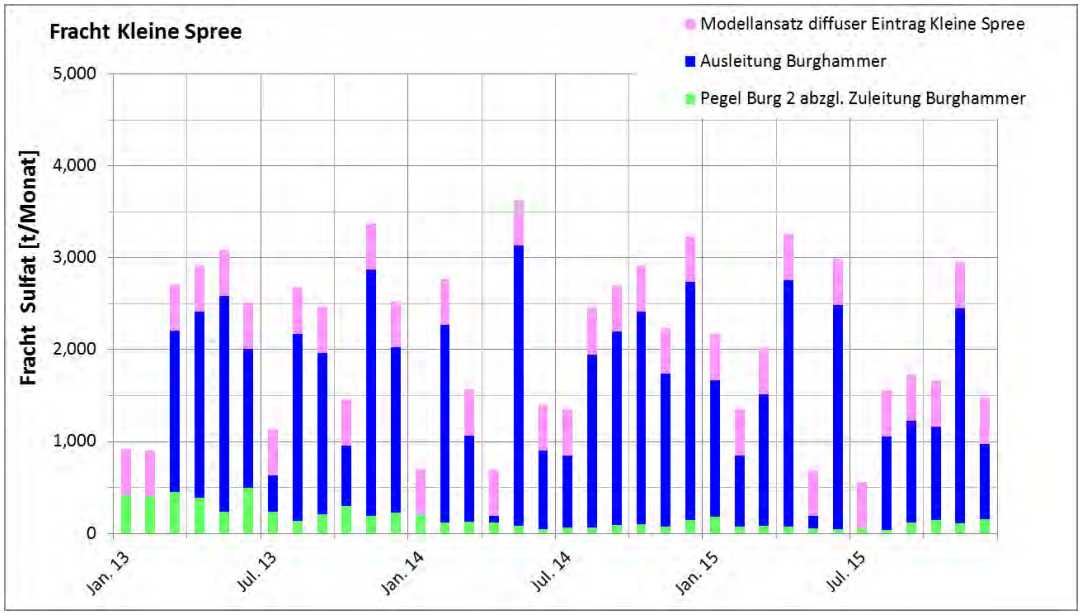


Abbildung 50: Berechnete Sulfatfrachten in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

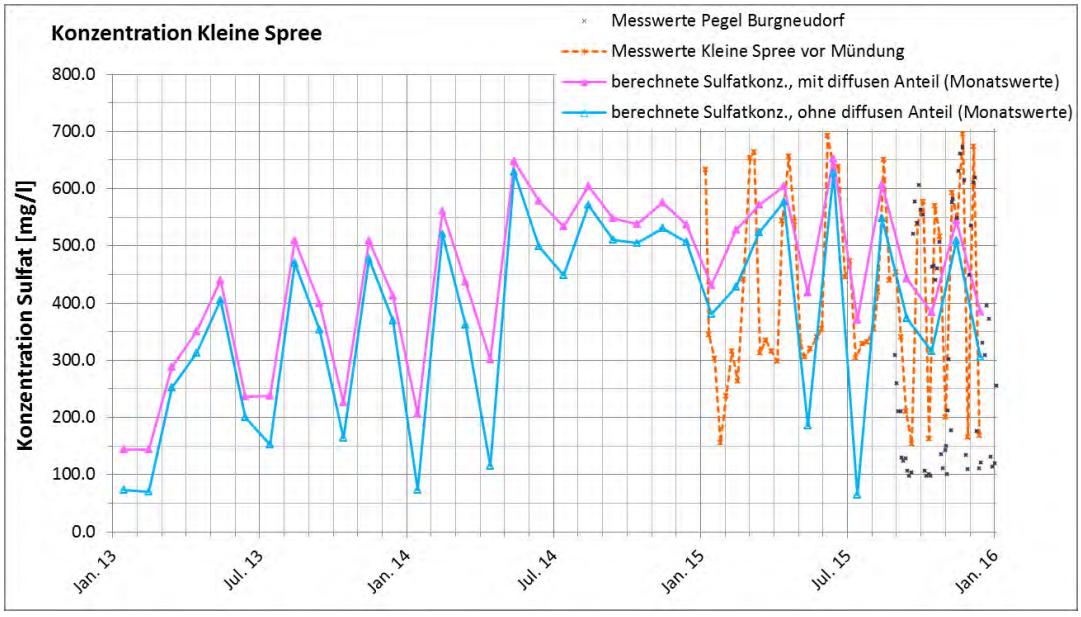


Abbildung 51: Berechnete und gemessene Sulfatkonzentrationen in der Kleinen Spree im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

Die Abbildung 52 zeigt die berechneten und gemessenen monatlichen Abflüsse am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015. In der Abbildung 53 ist die berechnete Zusammensetzung der Sulfatfrachten am Pegel Spreewitz dargestellt. Die Abbildung 54 enthält die berechneten (Monatsmittelwerte) sowie gemessenen (1 Stichtagswert monatlich) Konzentrationen am Pegel Spreewitz. Die Auswertungen zeigen eine sehr gute Erfassung der beobachteten Verhältnisse mit dem Sulfatprognosemodell, auch wenn der Vergleich mit den Stichtagsmessungen der Sulfatkonzentrationen eher orientierenden Charakter hat.

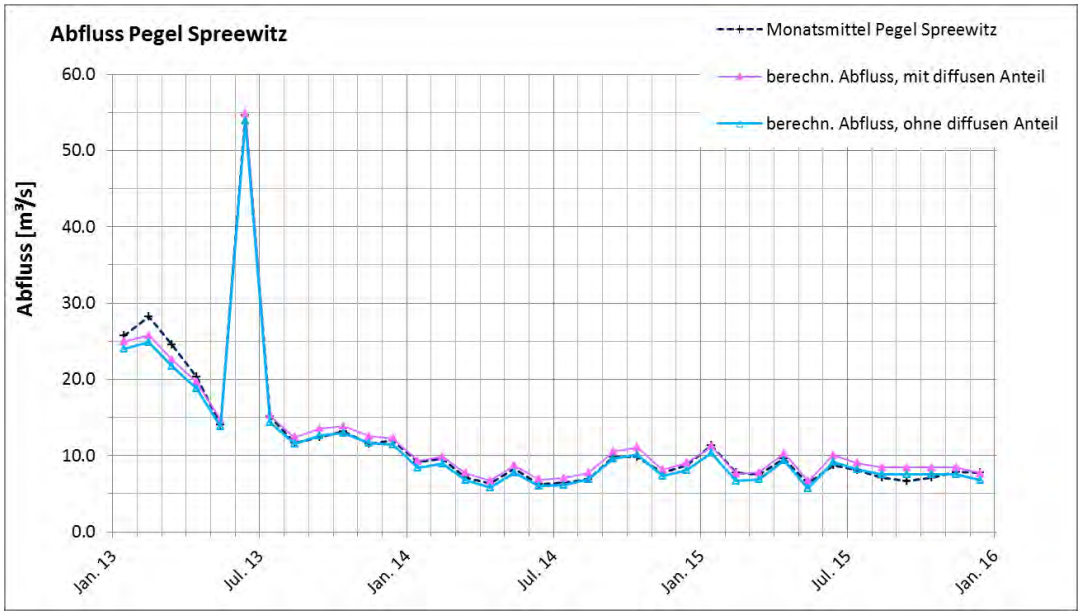


Abbildung 52: Berechnete und gemessene monatliche Abflüsse am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

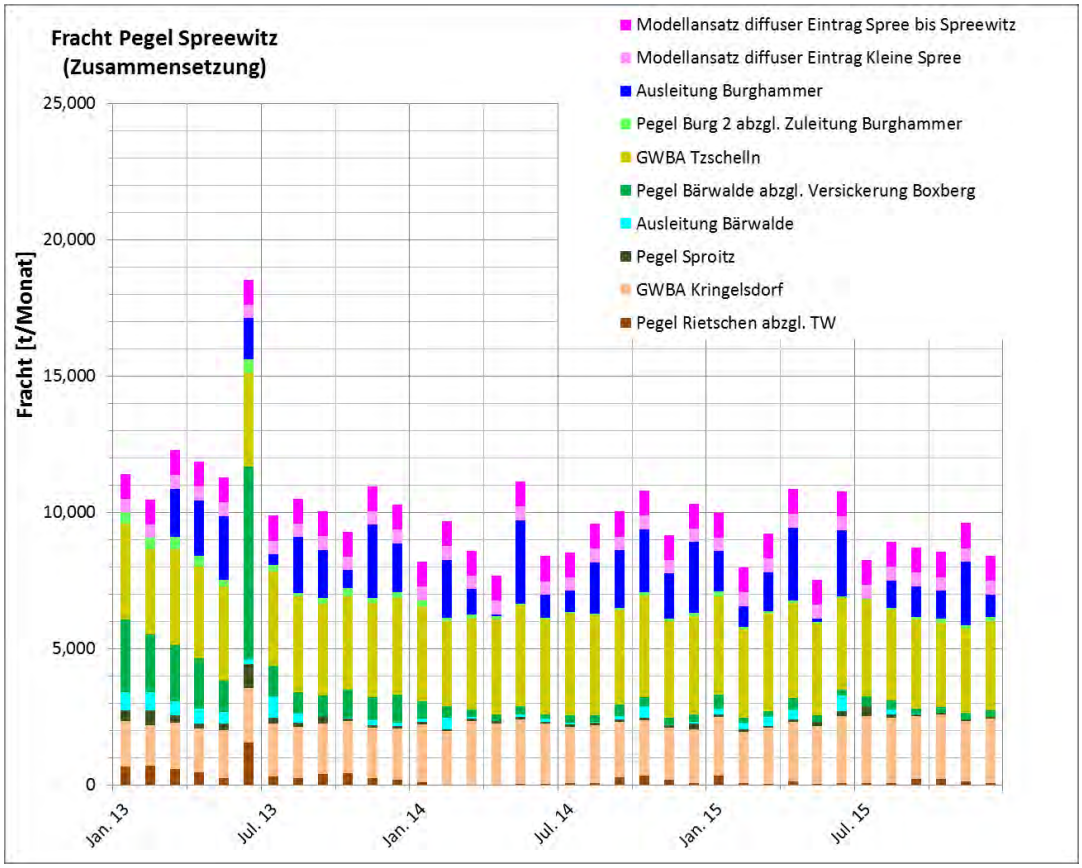


Abbildung 53: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Sulfatfrachten am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 - 2015

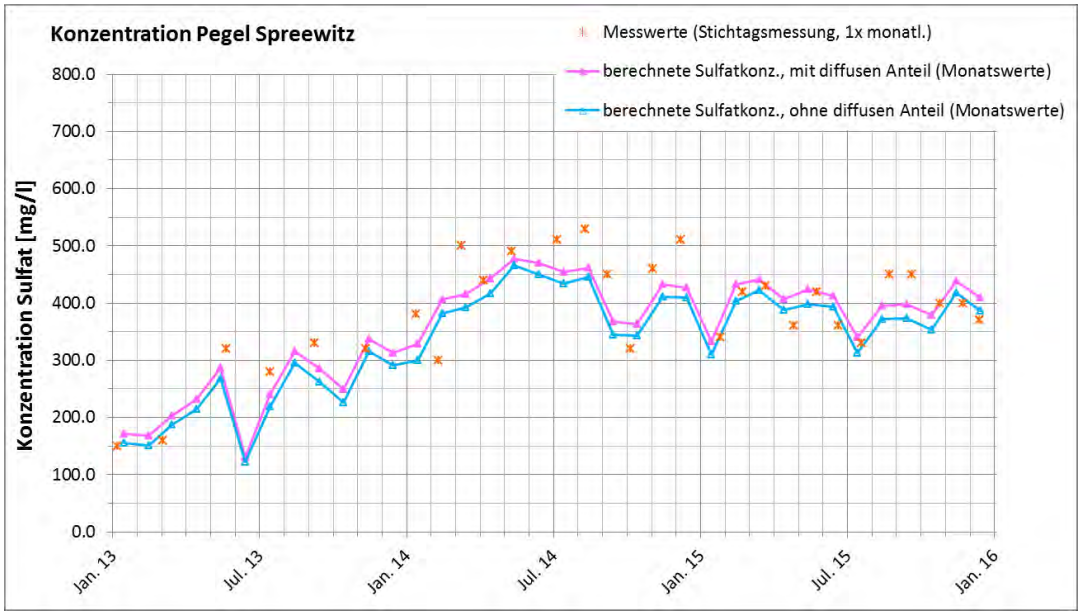


Abbildung 54: Berechnete und gemessene Konzentrationen am Pegel Spreewitz im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

Die Abbildung 55 zeigt die berechneten und gemessenen monatlichen Abflüsse am Pegel Spremberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015. In der Abbildung 56 ist die berechnete Zusammensetzung der Abflüsse dargestellt. Die Abbildung 57 enthält analog die Zusammensetzung der berechneten Frachten. Die Gegenüberstellung mit den aus den Messwerten (Tageswerte) abgeleiteten mittleren Monatsfrachten zeigt eine sehr gute Übereinstimmung und somit Bestätigung der gewählten Modellansätze. Die höchsten Sulfateinträge erfolgen durch die GWBA Tzschelln und Schwarze Pumpe sowie in etwas geringerem Maße Kringelsdorf. Einen relevanten Einfluss auf die Sulfatfrachten am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal haben zudem die Ausleitungen aus Burghammer (WSS Lohsa II), vor allem bei zukünftig höheren Ausleitmengen gegenüber dem Verifizierungszeitraum.

Ab Dezember 2014 ist jedoch eine Überschätzung der Frachten erkennbar. Ab Juni bis November 2015 liegt diese Überschätzung im Bereich der für die diffusen Zutritte angesetzten Sulfateinträge. Da in diesem Zeitraum auch die Abflüsse mit diffusem Anteil an den Pegeln Spreewitz und Spremberg überschätzt werden (s. Auswertung jeweils mit und ohne diffuse Zutritte), wird davon ausgegangen, dass aufgrund der sehr trockenen Verhältnisse ab Dezember 2014 ein verringerter Grundwasserzufluss im Bilanzgebiet erfolgte und ab Juni 2015 kaum noch relevante Grundwasserzutritte auftraten. Im Modell werden die diffusen Zutritte im Verifizierungszeitraum mit konstanter Größe angesetzt, so dass solche hydro-meteorologischen Effekte bzw. allgemein saisonale Effekte nicht abgebildet werden können.

Die Abbildung 58 zeigt die berechneten und gemessenen Konzentrationen am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015. Es wird eine gute Übereinstimmung bei Vergleich der Monatsmittelwerte erreicht. Dies zeigen auch die Gütekriterien in Tabelle 32.

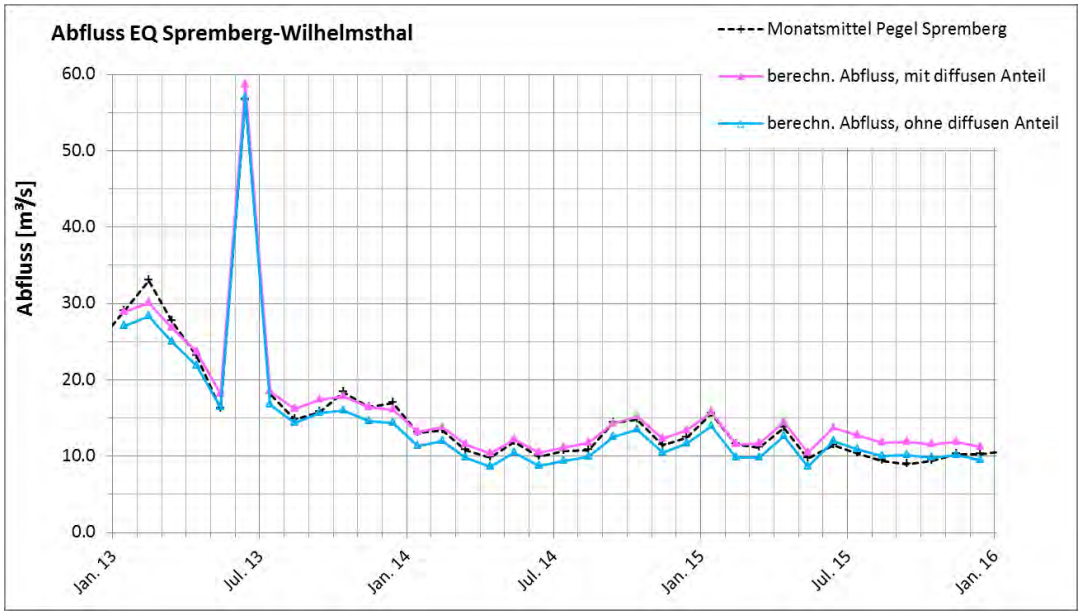


Abbildung 55: Berechnete und gemessene monatliche Abflüsse am Pegel Spremberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

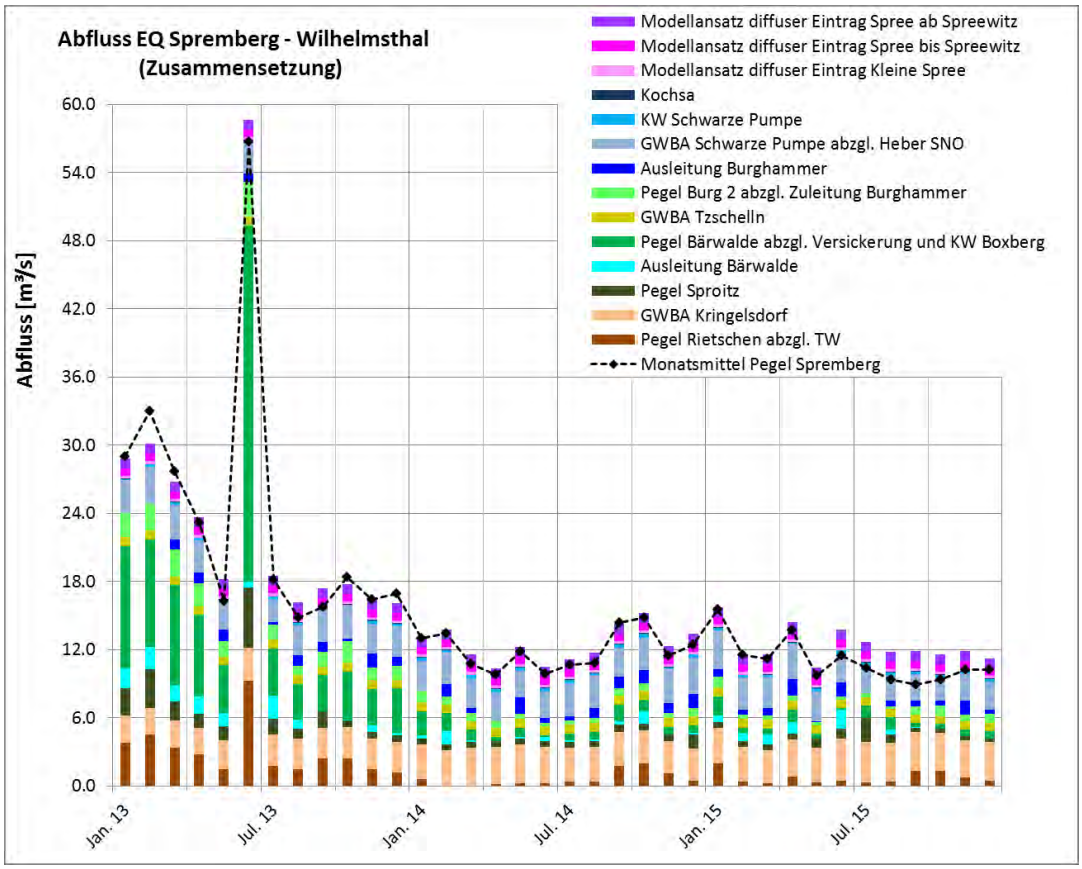


Abbildung 56: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Abflüsse am Pegel Spremberg im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

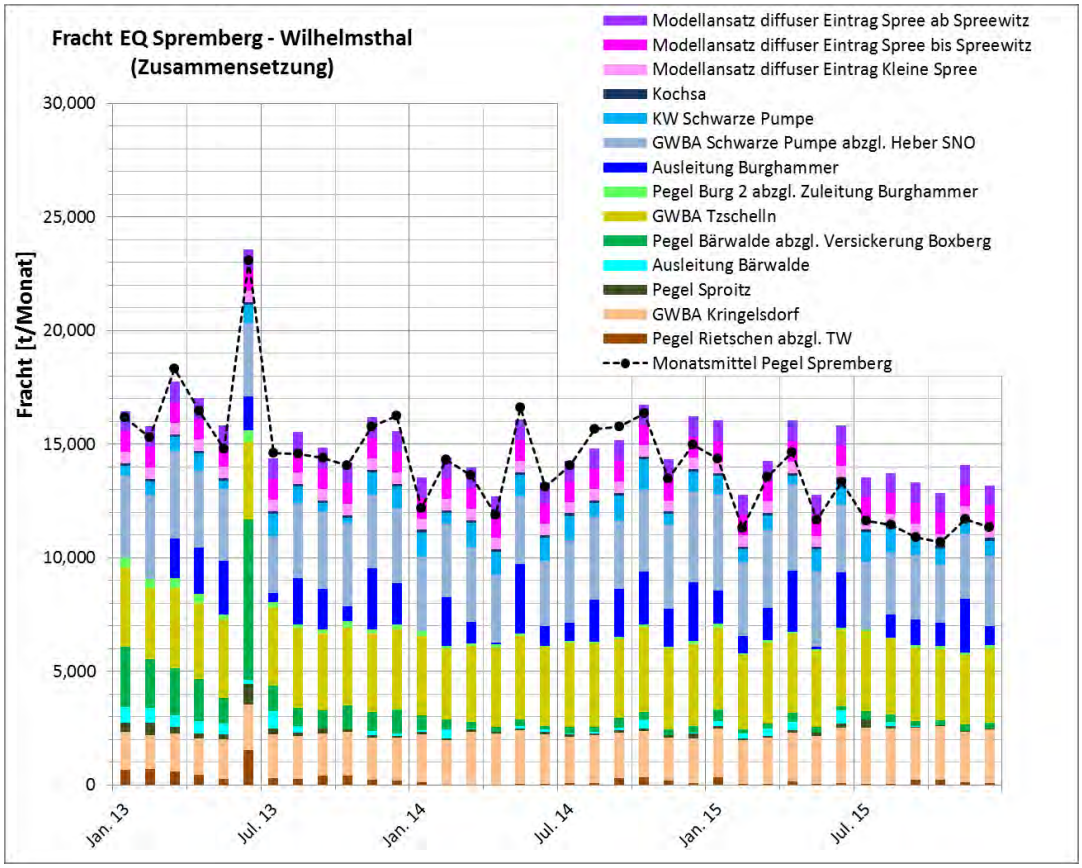


Abbildung 57: Berechnete Zusammensetzung der monatlichen Sulfatfrachten am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

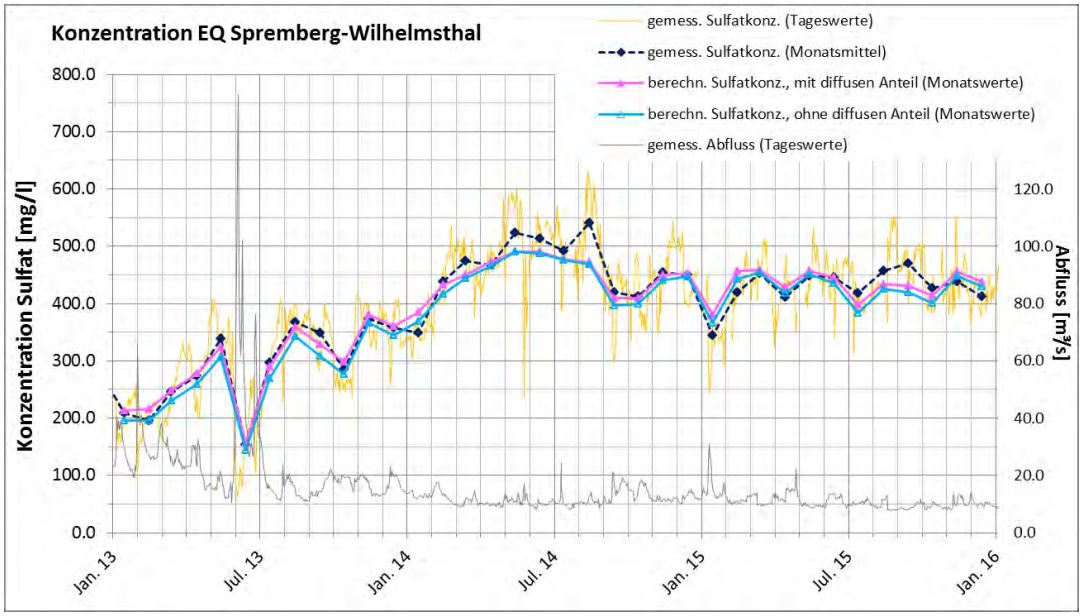


Abbildung 58: Berechnete und gemessene Konzentrationen am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal im Verifizierungszeitraum 2013 – 2015

Tabelle 32: Güte der Simulation – EQ Pegel Spremberg - Wilhelmsthal

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	01/2013 – 12/2015	36 (Monats-werte)	0,929	0,747	7,671
Sulfatkonzentration	01/2013 – 12/2015	36 (Monats-werte)	0,974	0,948	3,993

2.2.2 Spreegebiet bis Spreewald mit Tranitz, Malxe und Hammergraben

Unterhalb der Talsperre Spremberg (vgl. Sulfattranslationsmodul im Abschnitt 2.3.1) bis zum Spreewald sind als Immissionen die Einleitung von gereinigtem Grubenwasser über den Döbberner Graben sowie der Zufluss der verlegten Tranitz in Bezug auf die Hauptspree und die Malxe mit dem Kraftwerk und dem Tagebau Jänschwalde sowie dem Tagebau Cottbus Nord zu nennen. Darüber hinaus waren die zukünftige Planung für den Cottbuser Ostsee mit seiner Flutung aus der Spree und der Ausleitung über den Schwarzen Graben in den Hammergraben zu berücksichtigen. Zudem wurde die Flutung des Klinger Sees betrachtet.

Die Übersicht über den Verlauf der Frachtbilanzierung zeigt die folgende Abbildung.

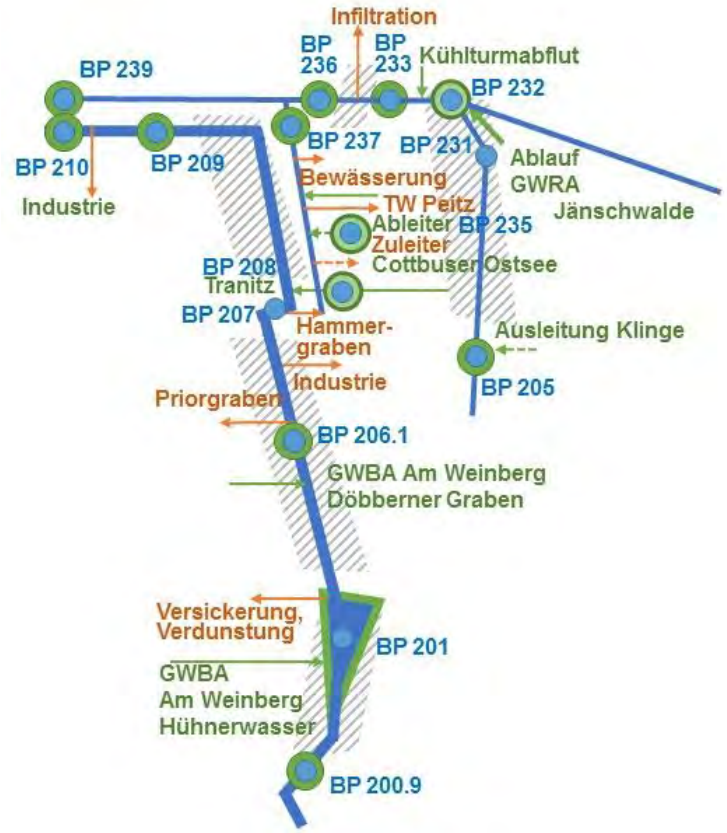


Abbildung 59: Übersicht über die Frachtbilanzierung im Sulfatprognosemodell, Bilanzbereich Spreegebiet bis Spreewald und Nordraum

2.2.2.1 Hauptspree bis Spreewald

Auf dem Spreeabschnitt unterhalb der Talsperre Spremberg bis zum Spreewald erfolgen Sulfateinträge durch

- den Döbberner Graben und
- die verlegte Tranitz.

Frachtenreduzierungen erfolgen durch folgende Entnahmen:

- Überleitung in den Priorgraben,
- „Industrie Cottbus“ und „Vetschau“,
- Überleitung in den Hammergraben einschließlich der Flutungsmengen für den Cottbuser Ostsee.

Döbberner Graben

Aus der GWBA Am Weinberg erfolgt über den Döbberner Graben eine Einleitung in die Spree unterhalb der Talsperre Spremberg. Die Einleitung beträgt im Mittel 40 l/s (Versorgungsbilanz LEAG). Die mittlere Sulfatkonzentration der GWBA Am Weinberg wird mit 860 mg/l angegeben. Die eingetragene Sulfatfracht liegt somit bei ca. 90 t/ Monat.

Verlegte Tranitz

Das verlegte Tranitzfließ mündet bei Cottbus-Merzdorf in die Spree (Düker unter Hammergraben). Der Abfluss setzt sich aus dem Dargebot des oberen Einzugsgebietes und dem Zufluss aus dem Branitz-Dissenchener Grenzgraben zusammen. Die Abbildung 60 zeigt die Ganglinien zu Sulfatkonzentration und Abfluss für die verlegte Tranitz (ab 2008). Die Sulfatkonzentration im verlegten Tranitzfließ zeigt eine deutliche Abhängigkeit vom Durchfluss, die Sulfatkonzentrationen nehmen bei höheren Durchflüssen ab.

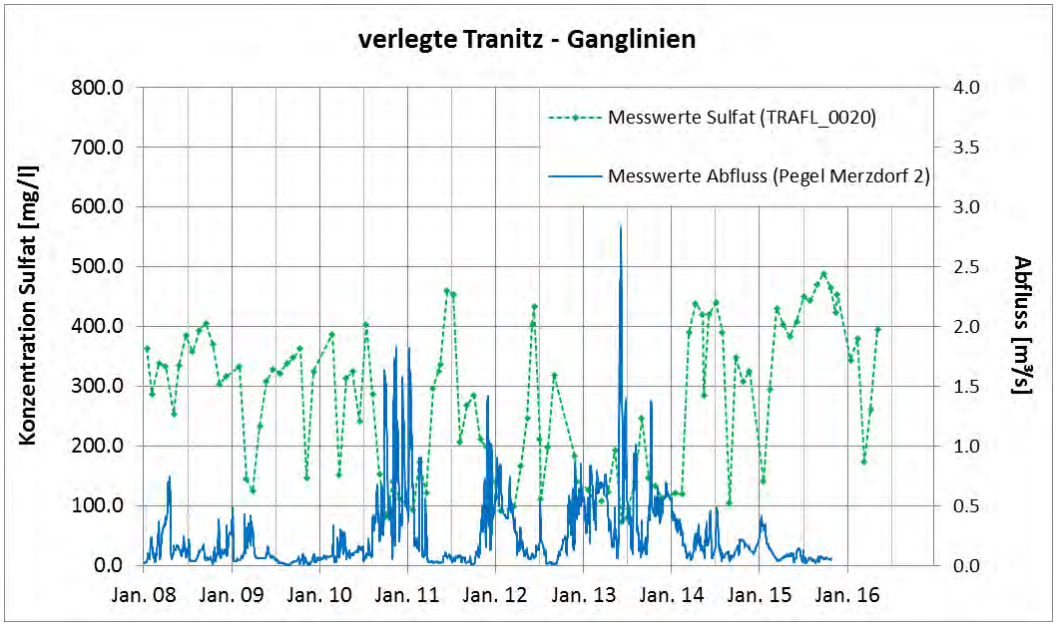


Abbildung 60: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abfluss für die verlegte Tranitz (ab 2008)

Abbildung 61 zeigt, dass diese Abhängigkeit auch funktional belegbar ist. Allerdings ist im Bereich bis 0,25 m³/s praktisch kein Zusammenhang zum Durchfluss vorhanden, während er oberhalb von 0,25 m³/s sehr flach verläuft. Daher wurde für das Sulfatprognosemodell bei Abflüssen von < 0,25 m³/s eine Sulfatkonzentration von 400 mg/l aus dem oberen Streuungsbereich gewählt, bei höheren Abflüssen ebenfalls vom oberen Rand 200 mg/l Sulfat.

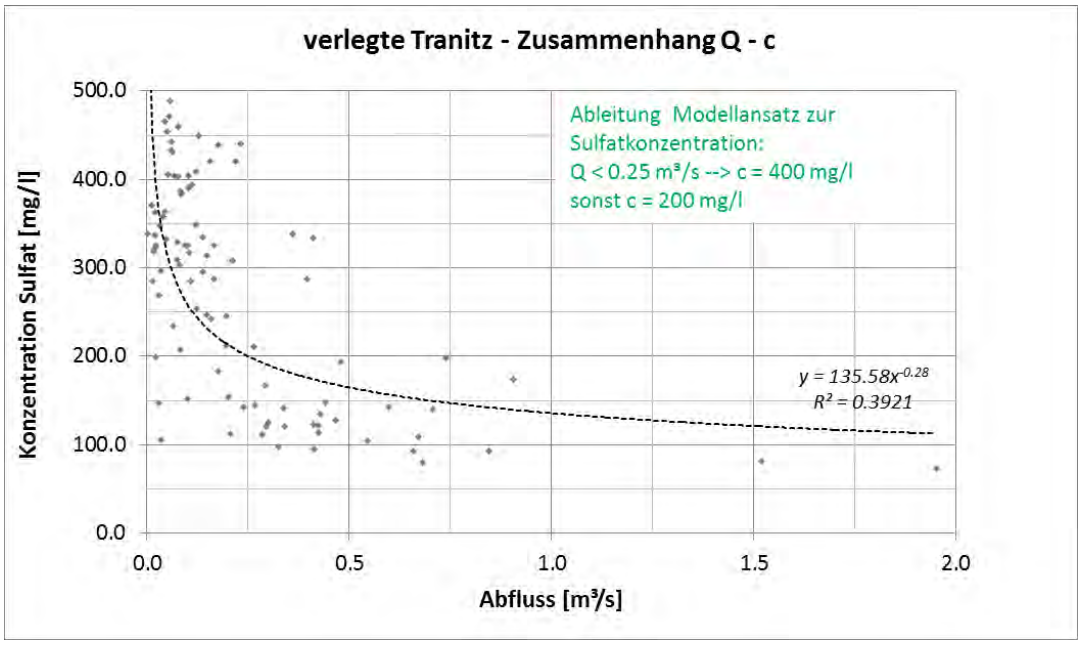


Abbildung 61: Prüfung des Zusammenhangs zwischen Abfluss und Konzentration sowie Ableitung des Modellansatzes zur Sulfatkonzentration für die verlegte Tranitz

Die Abbildung 62 zeigt die Plausibilisierung des Modellansatzes zum Sulfateintrag der verlegten Tranitz in die Spree anhand der Gegenüberstellung mit der aus der monatlichen Stichtagsmessung abgeleiteten Sulfatfracht. Bei der Gegenüberstellung ist zu beachten, dass die „gemessenen" Frachten aus ein bis zwei Stichtagswertepaaren je Monat ermittelt wurden und somit nur orientierenden Charakter aufweisen. Es kann aber abgeleitet werden, dass Verlauf und Höhe der durch die verlegte Tranitz in die Spree eingetragenen Sulfatfracht mit dem gewählten Ansatz zur Sulfatkonzentration abgebildet wird.

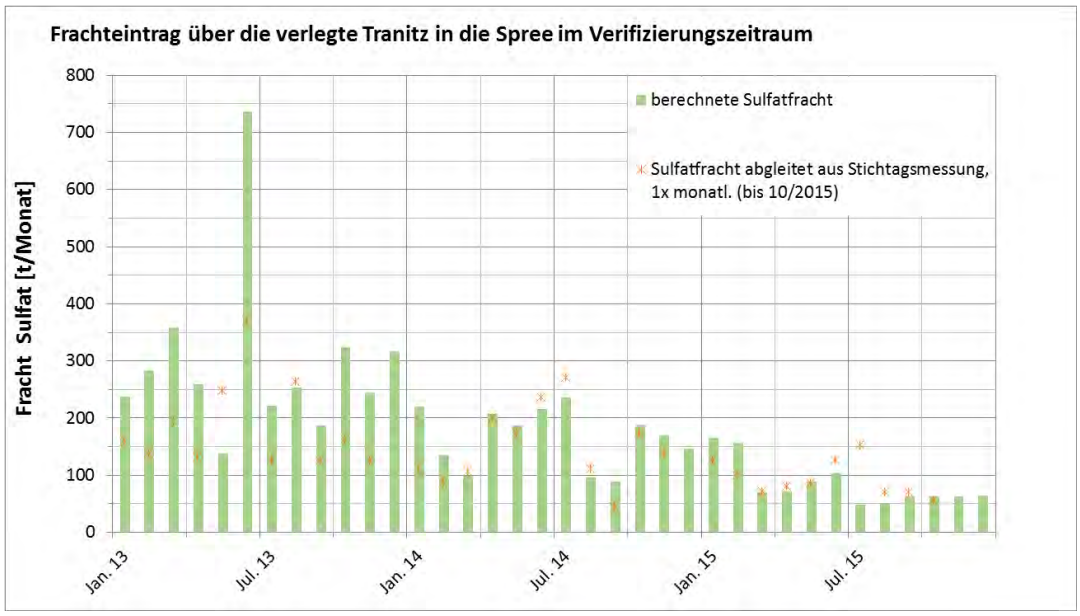


Abbildung 62: Plausibilisierung des Modellansatzes zum Sulfateintrag der verlegten Tranitz in die Spree anhand der Gegenüberstellung mit der aus der monatlichen Stichtagsmessung abgeleiteten Sulfatfracht

2.2.2.2 Malxe mit Tranitz und Hammergraben

Emissionsquerschnitt

Die Sulfatkonzentration der Malxe wird am EQ Fehrow/ Malxe, unterhalb des Zusammenflusses Hammerstrom und Malxe ermittelt. Sie dient als Eingangskonzentration für das Sulfattranslationsmodul Spreewald. Vom Durchfluss an diesem Querschnitt wird dafür ein Abschlag in den Nordumfluter berechnet, der einen eigenen EQ erhält (s. Abschnitt 2.3.2).

Sulfatquellen

Als aktuelle bzw. zukünftige Sulfatquellen sind der Cottbuser Ostsee, die Ausleitung des Restlochs Klinge in die Tranitz, der Hammergraben, die GWRA und das Kraftwerk Jänschwalde sowie die natürliche Hintergrundbelastung zu nennen. Der Hammergraben wird am Wehr in Cottbus-Merzdorf mit Spreewasser bespannt.

Tranitz mit Restloch Klinge

Die aktuelle Flutungsprognose der LMBV für das RL Klinge geht von der Flutung ab 10/2019 mit ca. 0,25 m³/s im Mittel ausschließlich aus der Tranitz aus, wobei in 5 Monaten des Jahres keine Flutung erfolgt. Mit der Flutung wird sich durch Verdünnung zukünftig eine Sulfatkonzentration von ca. 300 mg/l im RL einstellen (BTU, 2011). Das Erreichen des unteren Endwasserstandes wird nicht vor 2026 erwartet. Die Wirkung der Ausleitung Klinge in die Tranitz erfolgt erst danach.

Die Rückverlegung der Tranitz erfolgt entsprechend der Planung von LEAG ab ca. 2028, d.h. nach Abschluss der Flutung des RL Klinge. Es wird angenommen, dass die Tranitz unterhalb der Kathlower Teiche eine Sulfatkonzentration von 120 mg/l aufweist (BTU, 2011).

Cottbuser Ostsee

Die zukünftige Planung für den Cottbuser Ostsee mit seiner Flutung aus der Spree und der Ausleitung über den Schwarzen Graben in den Hammergraben wurde im Modell berücksichtigt. Im Cottbuser Ostsee liegt die stationäre Sulfatkonzentration bei 500 mg/l bzw. im „worst case“ Fall (verringerte Nachsorgeflutung aus der Spree und gleichzeitig höhere Sulfatkonzentration des Spreewassers) bei maximal 600 mg/l (IWB, 2016)

Hammergraben

Der Hammergraben wird am Wehr in Cottbus-Merzdorf mit Spreewasser bespannt. Die Abbildung 63 zeigt die Ganglinien der Sulfatkonzentrationen und Abflüsse am Pegel Merzdorf 1/ Hammergraben (ab 2008).

Für die Frachtbilanzierung im IST-Zustand am Pegel Fehrow/ Malxe sind neben der Einleitung aus GWRA und KTA Jänschwalde die Entnahmen für Bewässerungen und Infiltrationen sowie die Teichbewirtschaftung Peitz zu berücksichtigen.

Die natürliche Hintergrundbelastung wurde als Restglied betrachtet. Die Abschätzung des Grundwasserzuflusses aus der Restgliedbetrachtung ergab im Mittel ca. 1,5 m³/s (s. Abbildung 64). Im Frühjahr/ Sommer 2015 wurde witterungsbedingt ein geringerer Zufluss mit ca. 1,0 m/s ermittelt, der sich mit den allgemein trockenen Verhältnissen im Bilanzgebiet begründen lässt (das vorbergbauliche NNQ betrug am 07.08.1969 0,81 m³/s). In Zusammenhang mit der Frachtermittlung am Pegel Fehrow/ Malxe (s. Zusammenführung der Module am Kapitelende) wurde eine mittlere Sulfatkonzentration von 230 mg/l für die Grundwasserzutritte abgeleitet.

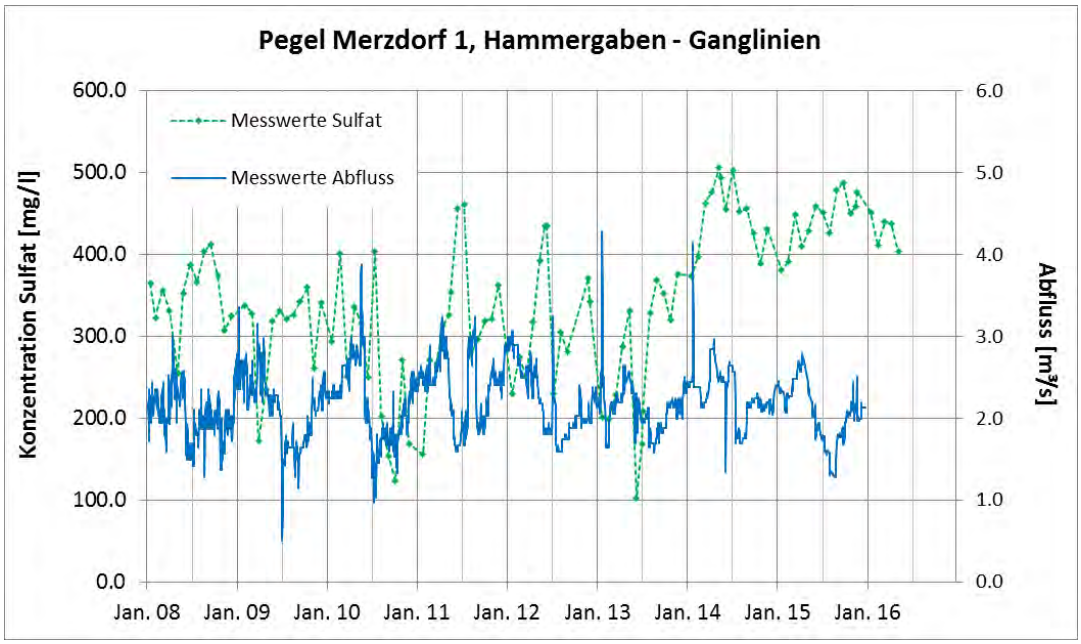


Abbildung 63: Vorhandene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen am Pegel Merzdorf 1/ Hammergraben (ab 2008)

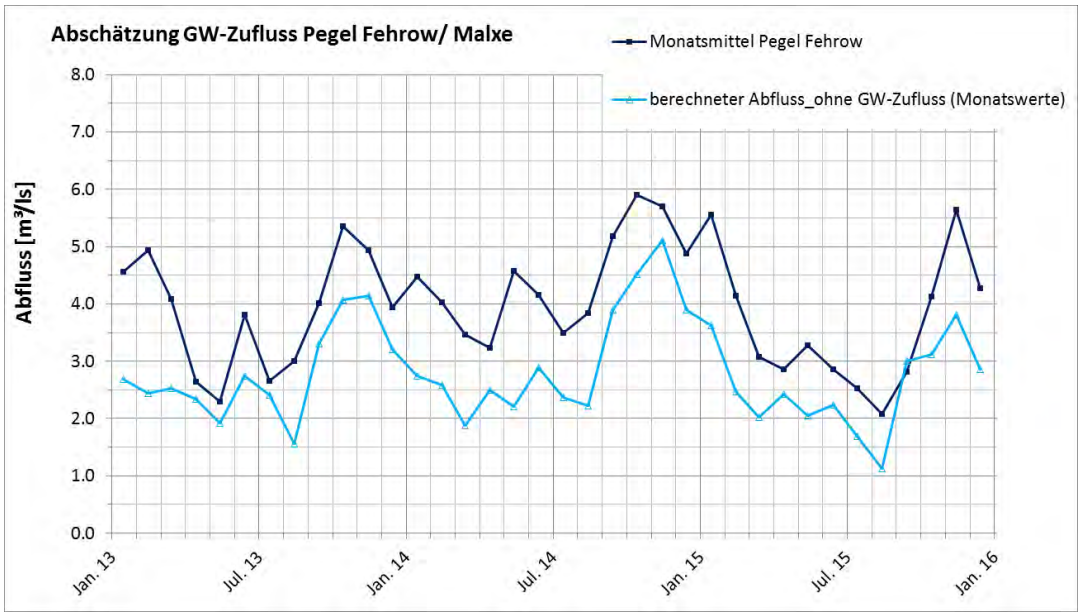


Abbildung 64: Abschätzung des Grundwasserzuflusses am Pegel Fehrow/ Malxe

GWRA Jänschwalde und Kraftwerk

Die Wasserbilanz der GWRA Jänschwalde ergibt sich aus den einzelnen Positionen der Versorgungsbilanzen. Diese sind WBalMo-Objekten („Nutzern“) zugeordnet, die im wasserwirtschaftlichen Modell an einem Flussquerschnitt und in einer bestimmten Reihenfolge bilanziert werden. Die sich daraus ergebende Lage der Entnahme- und Einleitungspunkte mit ihren WBalMo-Nummern zeigt Abbildung 65. Die dargestellten Zahlen stellen die sich daraus ergebende Bilanz dar (Zeithorizont 2015). Die Unstimmigkeiten dieser Bilanzierung können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Bilanz am Bilanzprofil 231 (Tranitz vor der Mündung in die Malxe) ist von Mai bis Juli durch hohe Bedarfswerte negativ, wodurch dann eine Beschränkung des Zulaufs zum Unterteich Bärenbrück auftritt. In anderen Monaten sinken die auszugleichenden Verluste der Bärenbrücker Teiche bis 0 ab. Diese Bedarfsänderung und Beschränkung tritt so in der Praxis nicht auf.
- Die Versickerung von 15% bis zum Zulauf zur GWBA Jänschwalde fehlt.
- Die Änderung der Versorgung der Bärenbrücker Teiche aus dem Tagebau Jänschwalde ab 2018 ist noch nicht berücksichtigt.

Die Zusammenfassung aller Nutzungen an den Bilanzprofilen 231 und 232 ist für eine Frachtbilanzierung nicht ausreichend, da für die Entnahmen die Sulfatkonzentration nur aufwändig ermittelt werden kann. Aus diesen Gründen wurde die Systemstruktur überarbeitet und eine Reihe von weiteren Änderungen vorgenommen:

Neue Bilanzprofile:

- 231.4 zur Bilanzierung des „Zulaufs Malxe am KW“ vor Versickerung und anschließend nach Versickerung (15%),
- 233 zur separaten Sulfatfrachtbilanzierung des Ablaufs GWRA, des KTA (Kühlturmablauf) und der ÜL Spree,
- 234 zur separaten Bilanzierung der an den KTA anschließenden Entnahmen.

Neue Nutzer

- 231.31: „Abzug für Verluste Unterteich Bärenbrück ab 2018“ zur Berücksichtigung der veränderten Lage der Bilanzwirksamkeit ab 2018,
- 231.41: „Versickerung bis GWRA“ als 15% vom Durchfluss am BP 231.4,
- 232.7: „KTA KW JW“ als separater Volumenstrom aus der Position „Rückleitung KW Jänschwalde (Pos. 1 - Pos. 7)“ der Versorgungsbilanzen.

Veränderungen an bestehenden Nutzern:

- Der Bedarf 231.2 wird nun bilanzrichtig am BP 231.4 wirksam. Die Bezeichnung wurde entsprechend Versorgungsbilanz geändert („Abzug für Infiltration Laßzinswiesen, Tranitz/Malxe, Eigenbedarf, Landwirtschaft“),
- Zuordnung der Nutzer 232.2/4/5 und 210.9 zu den Bilanzprofilen 234/231.4/233,
- Für die Bärenbrücker Teiche 231.3/31 wurde der Jahresgang („Abzug für Verluste Unterteich Bärenbrück“) entfernt und Werte aus der Versorgungsbilanz ganzjährig angenommen.

Die neue Lage der Bilanzprofile und die sich nun identisch zur Versorgungsbilanz auch im WBalMo ergebenden Bilanzergebnisse zeigt die Abbildung 66.

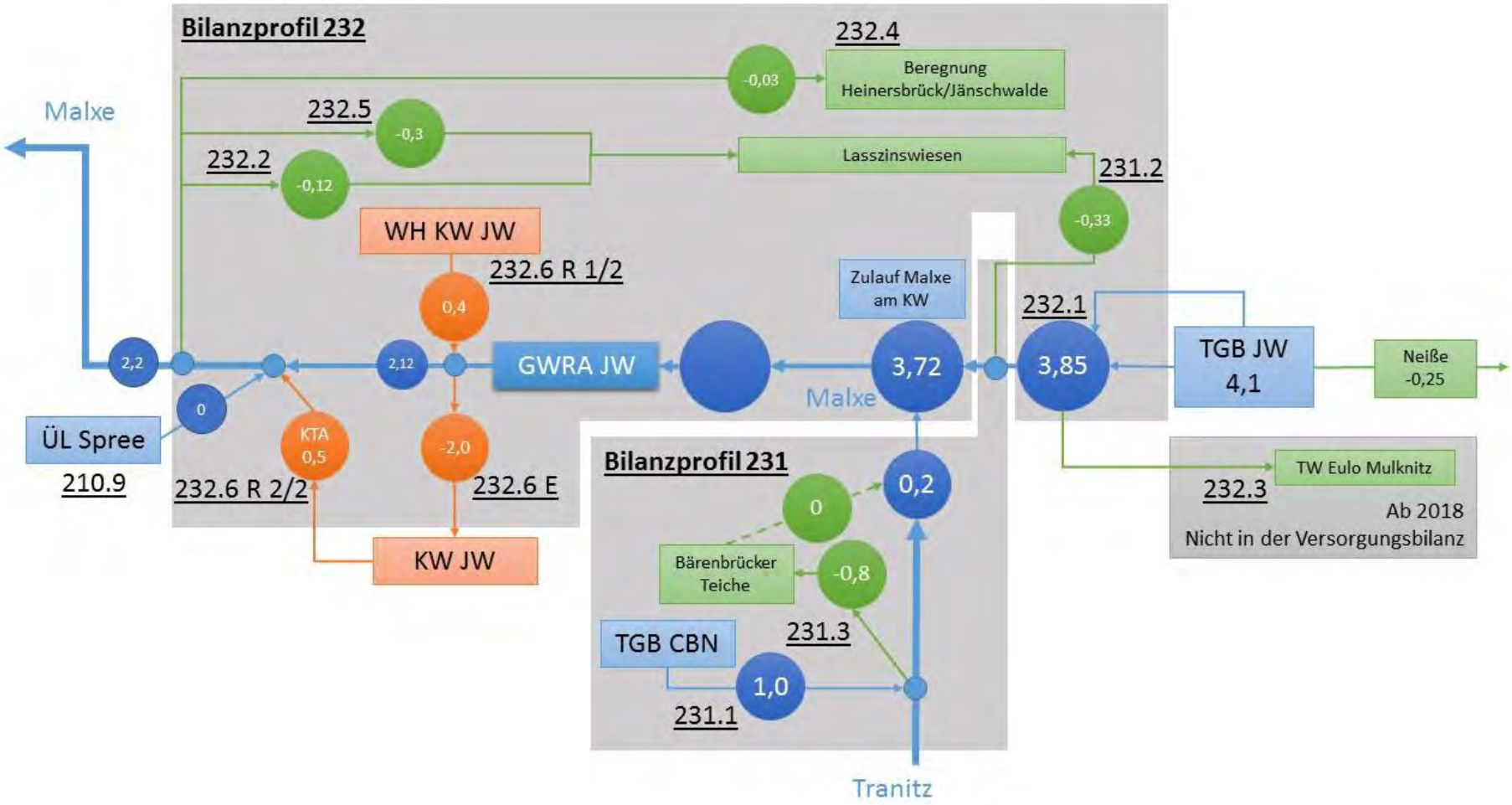


Abbildung 65: Bisherige Bilanzierung der GWRA Jänschwalde

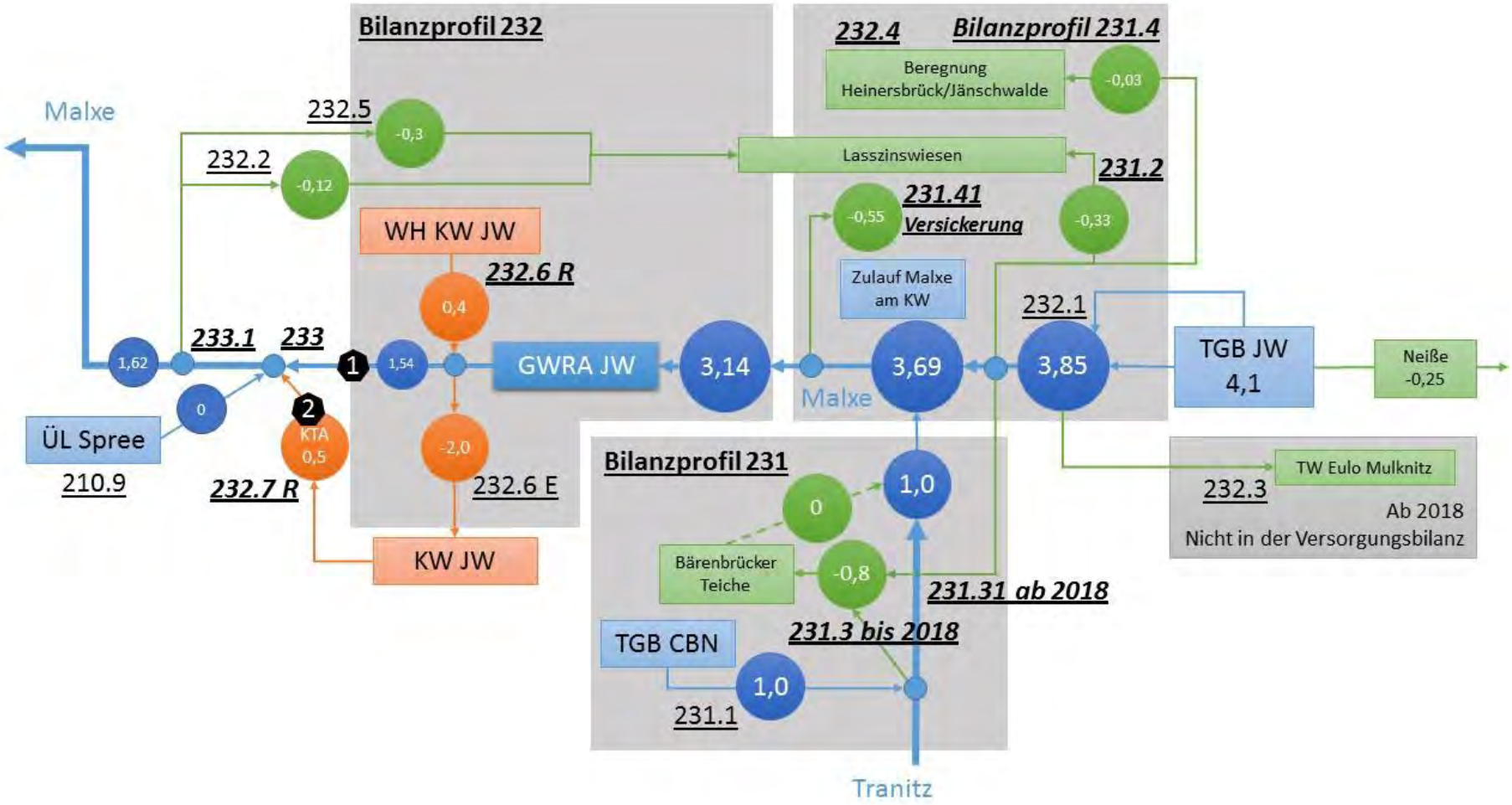


Abbildung 66: Aktualisierte Bilanzierung der GWRA Jänschwalde (kursiv: neue Modellobjekte oder Änderungen ihrer Lage, ihres Bedarf bzw. Einleitung)

GWRA Jänschwalde

Für die GWRA Jänschwalde liegen im Zeitraum 07/2004 bis 12/2015 Monatswerte zum Abfluss (aus Tageswerten aggregiert) und zur Sulfatkonzentration (aus Stichtagswerten abgeleitet, zumeist nur 1 Messung monatlich) vor. Die Abflüsse schwanken zwischen 1,0 und 3,0 m³/s ohne erkennbaren Trend. Die Sulfatkonzentrationen zeigen einen leicht ansteigenden Trend von ca. 250 mg/l 2008 auf ca. 350 mg/l 2015 (s. Abbildung 67). Für die Verifizierung wurde die mittlere Sulfatkonzentration 2013-2015 mit 340 mg/l angesetzt. Für die Prognose 2016 – 2026 erfolgte von der LEAG die Vorgabe von 350 mg/l Sulfat. Als mittlerer Abfluss wurden für 2016 – 2026 von der LEAG 2,0 m³/s angesetzt, d.h. es werden zukünftig höhere Abflüsse als bisher erwartet (s. Abbildung 68). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWRA Jänschwalde mit der berechneten Fracht in Abbildung 69 zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Sulfatfrachten der letzten Jahre lagen bei ca. 14000 bis 18000 t/ Jahr. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag von 1845 t/ Monat bzw. 22136 t/ Jahr berechnet. Aufgrund der gegenüber dem IST-Zustand höher angesetzten Ablaufmengen und Sulfatkonzentrationen erfolgt zukünftig mehr Sulfat-eintrag in die Malxe.

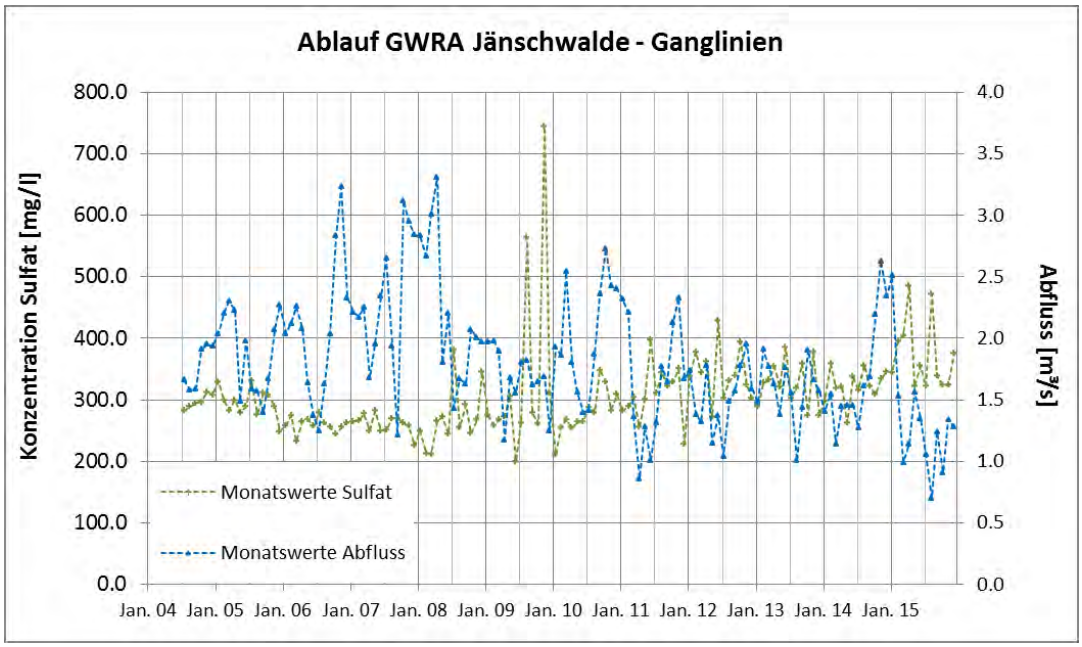


Abbildung 67: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen im Ablauf der GWRA Jänschwalde (07/2004 bis 12/2015)

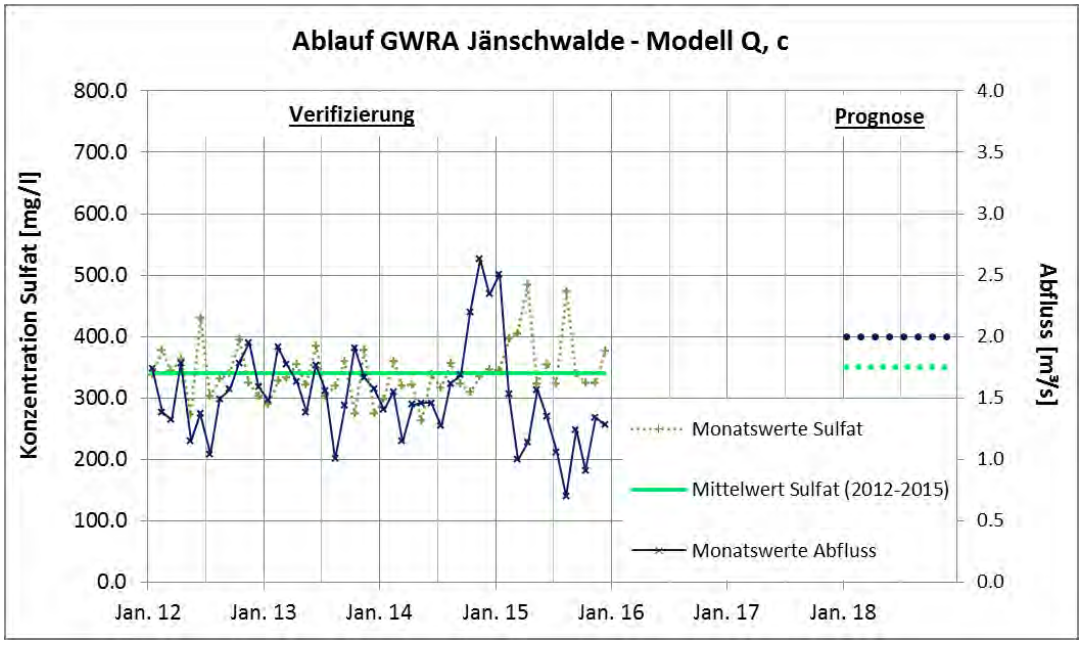


Abbildung 68: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf der GWRA Jänschwalde mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

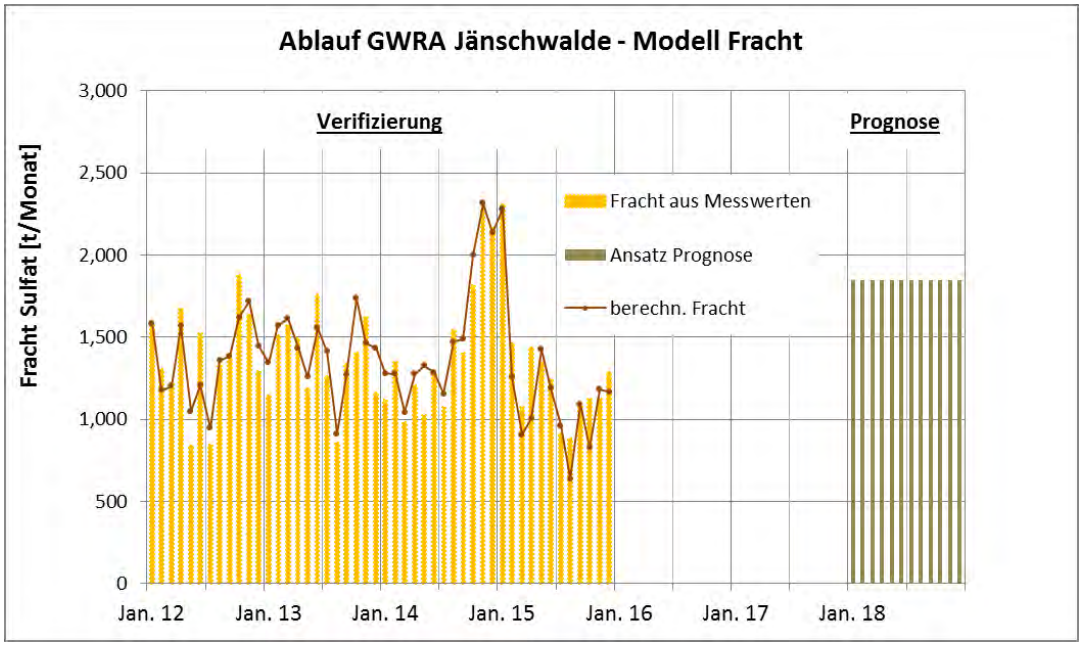


Abbildung 69: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der GWRA Jänschwalde mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2012 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

KTA Jänschwalde

Für die Kühlturmabflut Jänschwalde liegen im Zeitraum 07/2004 bis 12/2015 Monatswerte zum Abfluss (aus Tageswerten aggregiert) und zur Sulfatkonzentration (aus Stichtagswerten abgeleitet, zumeist nur 1 Messung monatlich) vor. Die Abflüsse schwanken zwischen 0,02 und 0,3 m³/s ohne erkennbaren Trend. Die Sulfatkonzentrationen zeigen einen leicht ansteigenden Trend von ca. 600 mg/l 2008 auf ca. 800 mg/l 2015 (s. Abbildung 70). Für die Verifizierung wurde die mittlere Sulfatkonzentration 2013-2015 mit 715 mg/l angesetzt. Für die Prognose 2016 – 2026 erfolgte von der LEAG die Vorgabe von 800 mg/l Sulfat. Als mittlerer Abfluss wurden für 2016 – 2026 von der LEAG 0,1 m³/s angesetzt (s. Abbildung 71). Die Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf der KTA Jänschwalde mit der berechneten Fracht in Abbildung 72 zeigt eine gute Übereinstimmung. Die Sulfatfrachten der letzten Jahre lagen bei ca. 1000 bis 2000 t/ Jahr 2012 – 2014 bzw. bei 3000 t/ Jahr 2015. Für den Prognosezeitraum wird ein Sulfataustrag in die Malxe von 211 t/ Monat bzw. 2530 t/ Jahr berechnet.

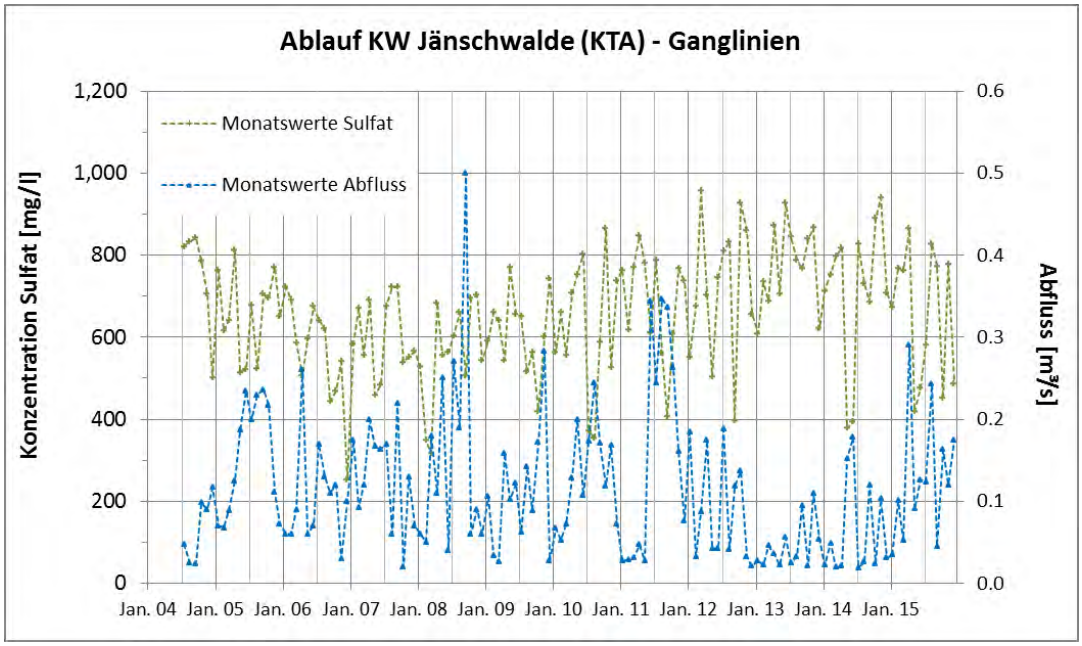


Abbildung 70: Als Monatswerte ausgewiesene Messwerte zu Sulfatkonzentrationen und Abflüssen im Ablauf des KW Jänschwalde (07/2004 bis 12/2015)

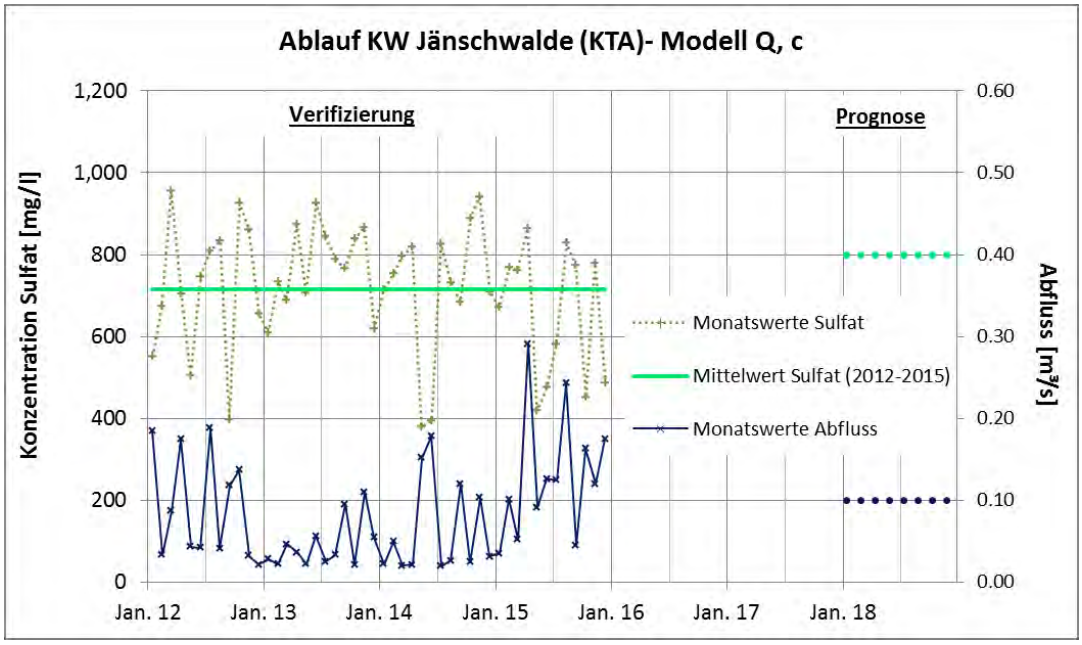


Abbildung 71: Gegenüberstellung der Messwerte für die Sulfatkonzentration und den Abfluss im Ablauf des KW Jänschwalde mit den Modellansätzen für die Verifizierung und die Prognose

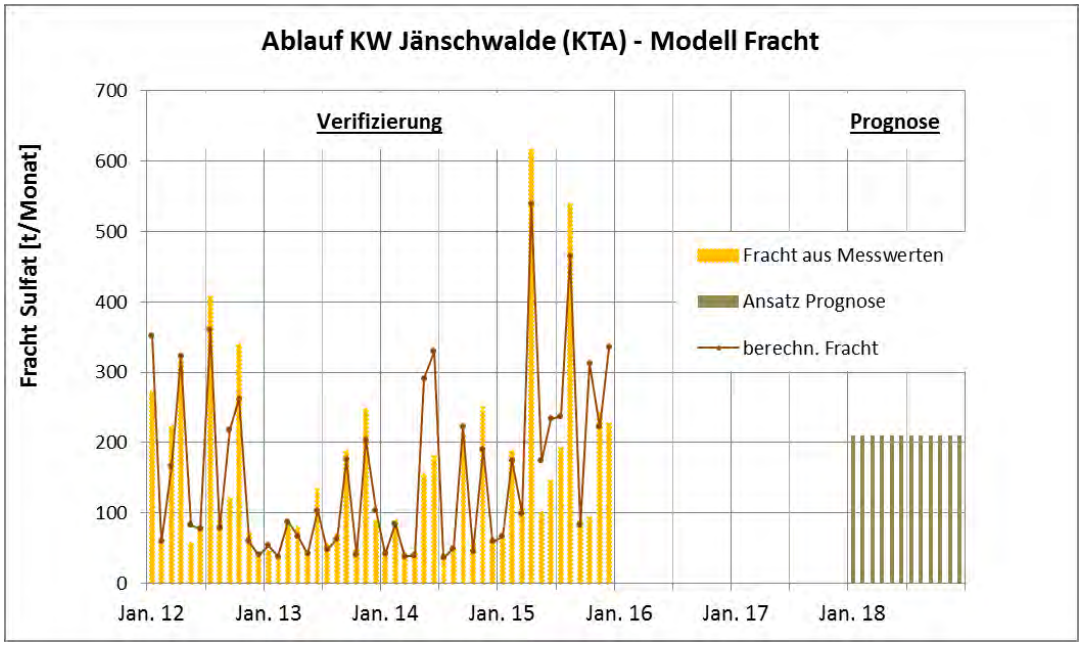


Abbildung 72: Gegenüberstellung der aus den Messungen abgeleiteten monatlichen Sulfatfracht im Ablauf des KW Jänschwalde mit der berechneten Fracht im Verifizierungszeitraum 2012 - 2015 sowie dem Prognoseansatz

Zusammenführung der Sulfateintragsmodule

Die Abbildung 73 zeigt die Verifizierung der Sulfatbilanzierung am Pegel Fehrow/ Malxe anhand der Sulfatfrachten. Bei der Gegenüberstellung ist zu beachten, dass die „gemessenen“ Frachten aus einem Stichtagswert je Monat ermittelt wurden und somit nur orientierenden Charakter aufweisen. Es kann aber abgeleitet werden, dass Verlauf und Höhe der Sulfatfracht am Pegel Fehrow/ Malxe mit den Sulfateintragsmodulen abgebildet werden. Die Abbildung 74 zeigt die berechnete Sulfatkonzentration. Die Entwicklung wird mit den gewählten Modellansätzen gut abgebildet. Da nur einzelne Stichtagswerte zur Gegenüberstellung mit den berechneten Monatswerten für Sulfatkonzentration und -fracht vorliegen, erfolgt keine Ausweisung von Gütekoeffizienten.

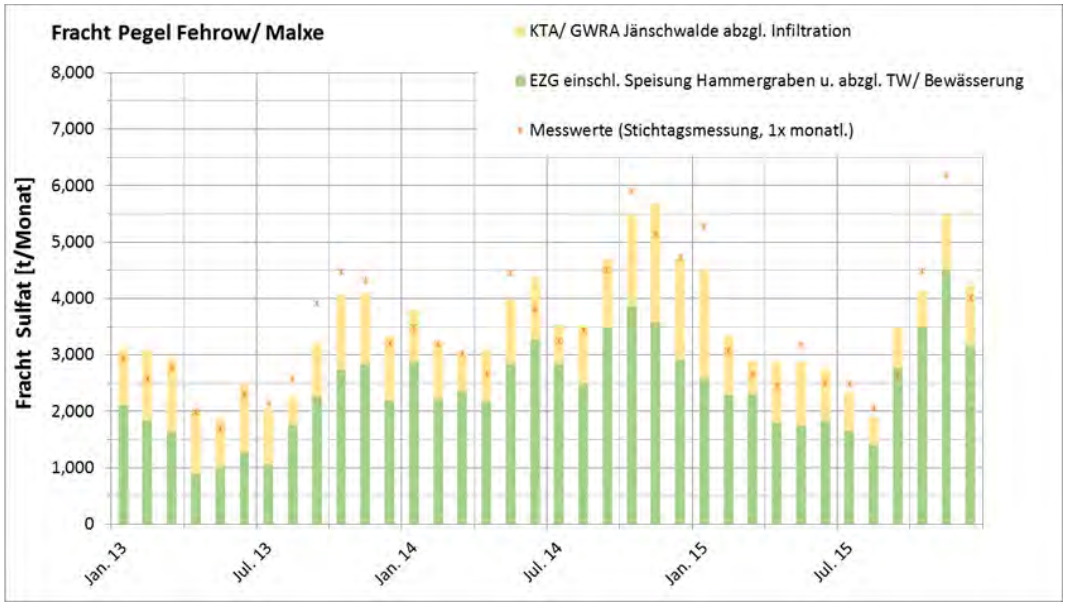


Abbildung 73: Verifizierung der Sulfatbilanzierung am Pegel Fehrow/ Malxe anhand der Sulfatfrachten

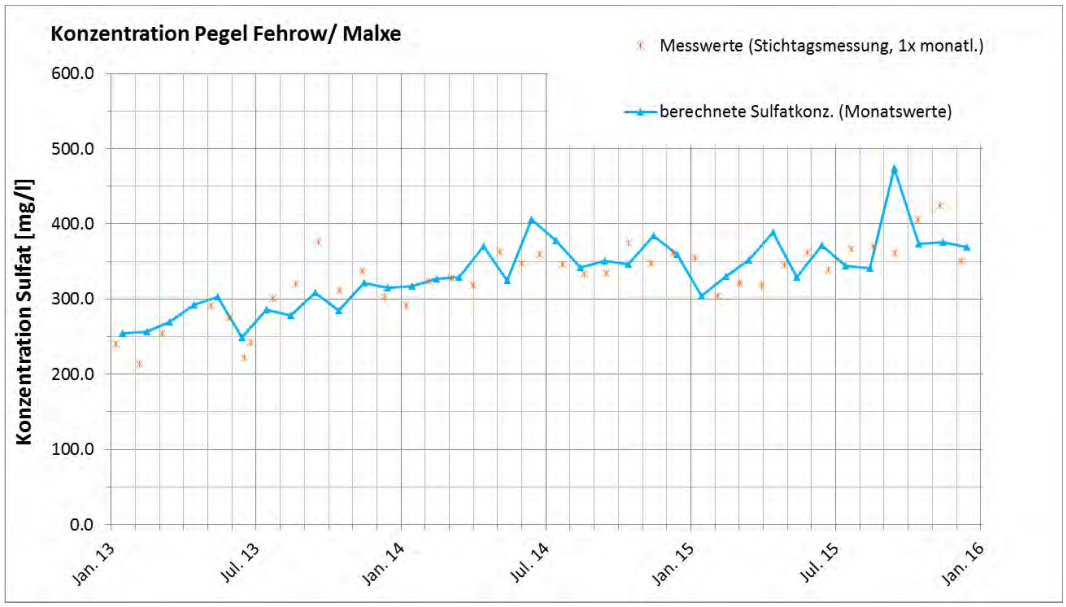


Abbildung 74: Verifizierung der Sulfatbilanzierung am Pegel Fehrow/ Malxe anhand der Sulfatkonzentrationen

2.2.3 Sulfateintragsmodule Nordraum

Betrachtet werden in den nachfolgenden Kapiteln die Sulfateinträge im Nordraum. Hierzu zählen insbesondere die Sulfateinträge aus den Einzugsgebieten des linksseitigen Nordraums (vgl. Abbildung 75), die in den Südumfluter bzw. die Spree münden.

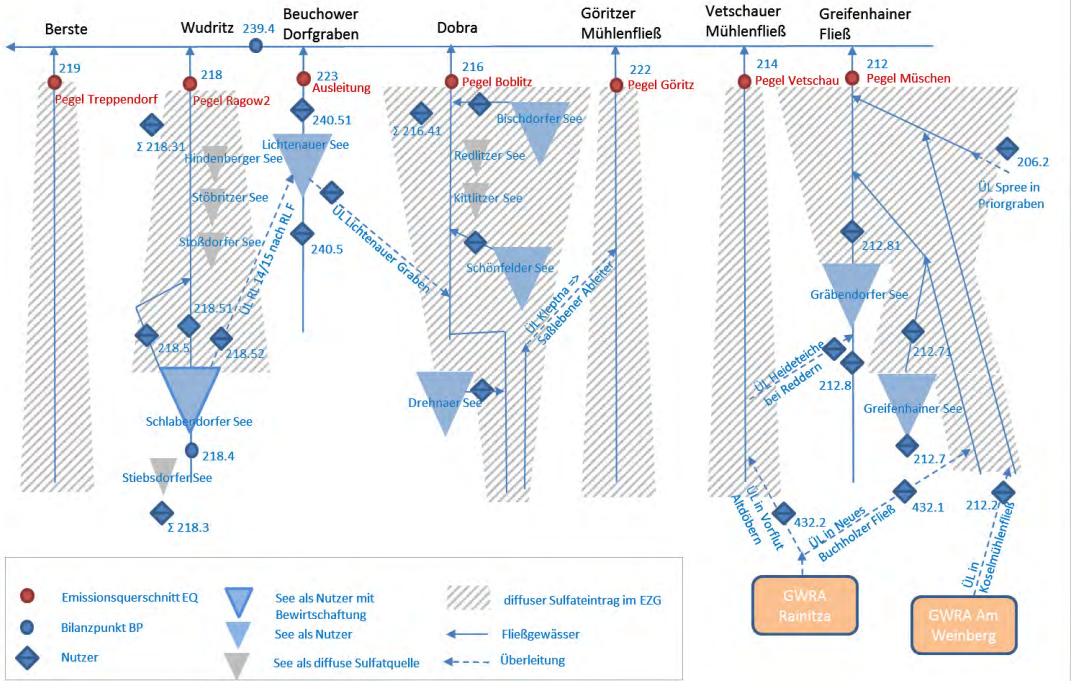


Abbildung 75: Übersicht der Sulfateintragsmodule im linksseitigen Nordraum

Um die Güte der simulierten Sulfatfrachten und Sulfatkonzentration einschätzen zu können, sind die folgenden Gütemaße in den nachfolgenden Kapiteln dargestellt:

- Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]
- Korrelationskoeffizient R [-]
- Mittlerer relativer Fehler [%].

Die Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE (Nash & Sutcliffe, 1970) wird als Gütemaß in der hydrologischen Modellierung verwendet. Hierbei werden die absoluten quadratischen Abweichungen mit der Varianz der gemessenen Werte normalisiert. Die qualitative Bewertung der berechneten NSE-Werte ist daher nur bei gleichen Varianzen eindeutig und orientiert sich in der Literatur am Abfluss, vgl. (Uhl & Henrichs, 2008). Die bei der Sulfatkonzentration deutlich geringere Varianz führt folgerichtig zu kleinen NSE-Werten. Der NSE ist dann als Maß für die Güte der Anpassung nur eingeschränkt geeignet. Für die vergleichende Betrachtung mit vom Abfluss bestimmten Größen wie der Stofffracht gilt dies in weit stärkerem Maß.

Daher sind weitere Gütemaße einbezogen worden, die Schwankungsverhalten und Abweichungen bewerten können, ohne die hier hervortretenden Eigenschaften des NSE aufzuweisen.

Der Korrelationskoeffizient gibt an, wie eng die lineare Beziehung zwischen den gemessenen und simulierten Werten ist. Eine genau lineare Beziehung ist bei einem Ergebnis von 1 bzw. -1 gegeben, d. h. Schwankungen erfolgen gleichsinnig bzw. entgegengesetzt in einem festen Verhältnis.

Der mittlere relative Fehler weist den Fehler aus, mit dem im Mittel die simulierten Werte von den gemessenen prozentual in Bezug auf den Messwert abweichen. Bei einer vollständigen Übereinstimmung ist der relative Fehler Null.

2.2.3.1 Greifenhainer Fließ

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet des Greifenhainer Fließes als Simulationsteilgebiet STG 12 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Bilanzpunkt (BP 212) Pegel Müschen, Paulicks Mühle verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Überleitung aus der Spree in den Priorgraben
- Überleitung von der GWRA Rainitza ins das Neue Buchholzer Fließ
- Überleitung von der GWBA Am Weinberg in das Koselmühlenfließ
- Überleitung aus dem EZG Vetschauer Mühlenfließ über Heideteiche bei Reddern
- Ausleitung aus dem Gräbendorfer See
- Ausleitung aus dem Greifenhainer (Altdöberner) See, nach Erreichen des Zielwasserstandes (geotechnischer Grenzwasserstand)
- diffuse Sulfatquellen (u. a. Illmersdorfer Niedermoor, Niedermoor bei Briesen (Laasower Fließ), Eichower Fließ (Luchwiesen)).

Sulfat-Eintragsmodul SE

In der Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Teil-SE GWRA Rainitza – Ausleitung in das Neue Buchholzer Fließ

Von der GWRA Rainitza wird Wasser in die Einzugsgebiete des linksseitigen Nordraums über ein Verteilerbauwerk in die Vorflut Altdöbern (EZG Vetschauer Mühlenfließ) und das Neue Buchholzer Fließ (EZG Greifenhainer Fließ) eingeleitet. Entsprechend Wasserrechtlicher Erlaubnis erfolgt eine bedarfsgerechte Einleitung ins Vetschauer Mühlenfließ zwischen 0 und 13 m^3/min und in das Neue Buchholzer Mühlenfließ zwischen 0 und 9 m^3/min zur Sicherung des Mindestabfluss am Pegel Ramzow (LMBV , 2016a).

Die Ausleitungsmengen der GWRA Rainitza in den linksseitigen Nordraum sind in Abbildung 76 dargestellt. Für die Ausleitungen ergeben sich die in Tabelle 33 zusammengestellten Mittelwerte (2015/2016). Danach ist für den Istzustand eine Aufteilung in die beiden Fließe von etwa 50 % ableitbar. Im Modell ist die Aufteilung der Ausleitungen der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern und in das Neue Buchholzer Fließ variabel vorgebbar. Für den Istzustand und für die Prognose sind gegenwärtig 50 % angesetzt.

Wie aus Abbildung 76 hervorgeht, liegen die Sulfatkonzentrationen im Zeitraum von 2009 bis 2016 zwischen ca. 600 und 900 mg/L. Im Jahr 2015 liegt der Mittelwert der gemessenen Sulfatkonzentrationen bei 680 mg/L. Für die Prognose wird von 760 mg/L, entsprechend der Sulfatkonzentration des Sedlitzer Sees lt. (BTU Cottbus, 2012), ausgegangen.

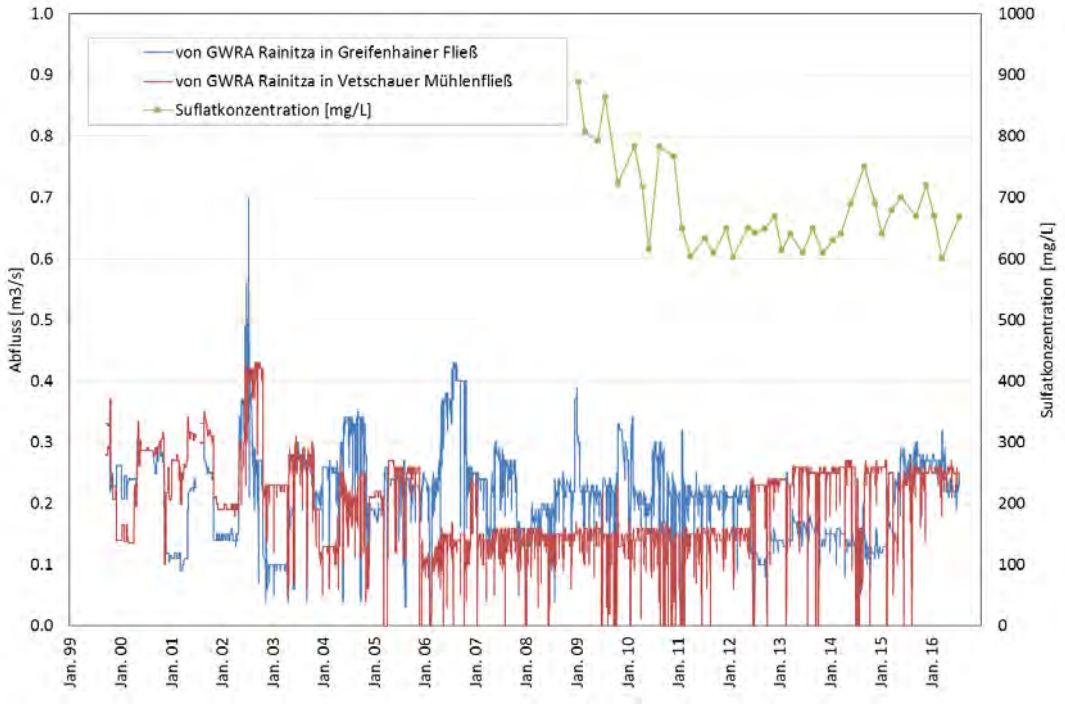


Abbildung 76: Ausleitungen von der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern (Vetschauer Mühlenfließ) und in das Neue Buchholzer Fließ (Greifenhainer Fließ) sowie Sulfatkonzentration der Ausleitungen (LMBV, 2016)

Tabelle 33: GWRA Rainitza – Ausleitmengen und Sulfatkonzentration

Einleitung GWRA Rainitza in	**Mittel 2015/2016 (LMBV, 2016)**		**Prognose**	
	Einleitung	**Sulfat-konzentration*)**	**Einleitung**	**Sulfat-konzentration **)**
Altdöberner Vorflut	0,240 m^3/s	680 mg/L	0,5 * Q_{GWRA} ***)	760 mg/L
Neues Buchholzer Fließ	0,237 m^3/s	680 mg/L	0,5 * Q_{GWRA} ***)	760 mg/L

*) Mittel der Stichtagsmessungen im Jahr 2015; **) Sulfatkonzentration Sedlitzer See in (BTU Cottbus, 2012), Anlage 6); ***) Q_{GWRA} ist die Ausleitung der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern und in das Neue Buchholzer Fließ

Im Modell wird der Sulfateintrag der GWRA Rainitza in das Neue Buchholzer Fließ über die Sulfatfracht bilanziert:

$FR = c * Q$

wobei

FR – Sulfatfracht aus der GWRA Rainitza in das Neue Buchholzer Fließ in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung der GWRA Rainitza in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 33

Q – Ausleitung der GWRA Rainitza (432.1) in das Neue Buchholzer Fließ in m^3/s, vgl. Tabelle 33.

Teil-SE GWBA Am Weinberg – Ausleitung in das Koselmühlenfließ

Die GWBA Am Weinberg leitet in das Koselmühlenfließ (EZG Greifenhainer Fließ) ein. Für die Sulfatkonzentration im Istzustand und für die Prognose wird von einem Wert von 860 mg/L ausgegangen (vgl. Tabelle 34).

Tabelle 34: GWBA Am Weinberg – Ausleitmengen und Sulfatkonzentration

Einleitung GWBA Am Weinberg in	Mittel 2015/2016		Prognose	
	Einleitung	Sulfat-konzentration (VE-M (jetzt LEAG), 2016)	Einleitung	Sulfat-konzentration
Koselmühlenfließ	*) m^3/s	860 mg/L	*) m^3/s	860 mg/L

Ausleitmengen werden mit dem Sulfateintragsmodul Südraum nachgereicht. LEAG realisiert gemäß wasserrechtlicher Erlaubnis Mindesteinleitungen, von denen 75% die Spree erreichen. Maßgeblich ist hier der Pegel an den Glinziger Teichen.

Im Modell wird der Ansatz analog der GWRA Rainitza verwendet.

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht aus GWBA Am Weinberg in das Koselmühlenfließ in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung der GWBA Am Weinberg in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 34

Q – Ausleitung der GWBA Am Weinberg in das Koselmühlenfließ in m^3/s.

Teil-SE Ausleitung aus dem Greifenhainer (Altdöberner) See

Der Greifenhainer (Altdöberner) See hat seinen Endwasserstand (+81,4 bis +82,4 m NHN) noch nicht erreicht, eine Ausleitung findet daher noch nicht statt. Der Wasserstand betrug im Juli 2016 +73,19 m NHN.

Die Messwerte der Sulfatkonzentration zeigen seit 2014 Werte zwischen rund 1000 und 1100 mg/L (mit einer Ausnahme), vgl. Abbildung 77. Für den Istzustand und für den Prognosehorizont 2026 werden in (IWB, 2016) Werte von 1100 mg/L und für den Prognosehorizont 2100 von 680 mg/L angegeben, vgl. Tabelle 35.

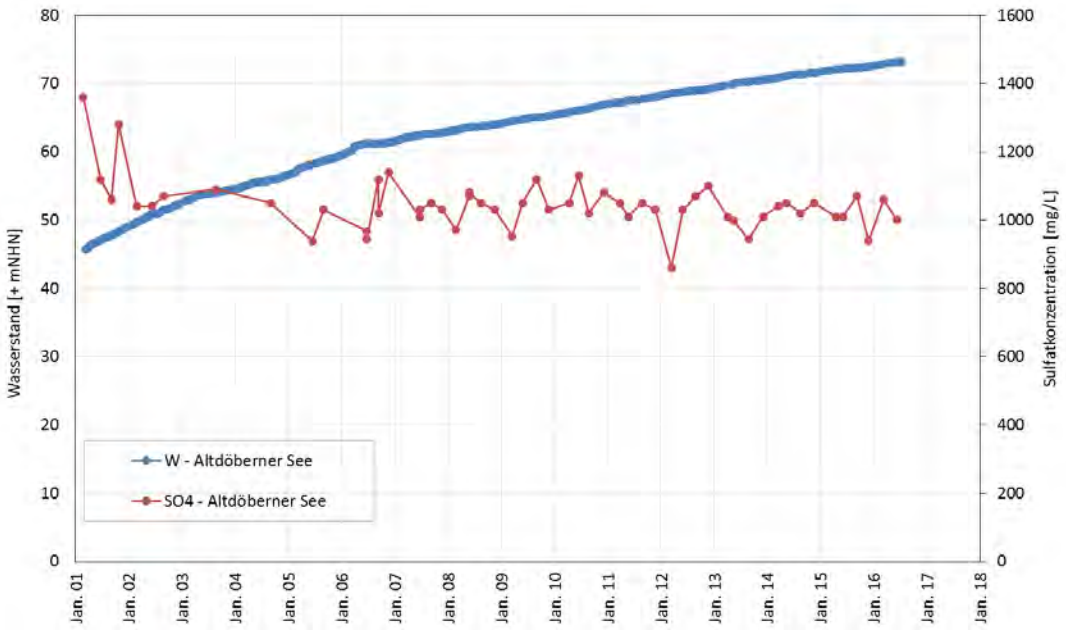


Abbildung 77: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 20.120) und Wasserstand (monatlich) – Greifenhainer (Altdöberner) See

Tabelle 35: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG Greifenhainer Fließ

See	Ist	Prognose	Prognose	Quelle
	2015	2026	2100	
Greifenhainer (Altdöberner) See	1100	1100	680	(IWB, 2016)
Gräbendorfer See	500	500	350	Werte 2015, 2026: DHI WASY, Wert 2100: (IWB, 2016)

Das Erreichen des Endwasserstandes aus dem Greifenhainer See ist für die untere Staulamelle (+81,4 m NHN für das Jahr 2028 und der oberen Staulamelle (+ 82,4 m NHN) für das Jahr 2029 prognostiziert (LMBV , 2016a). Eine Ausleitung aus dem Greifenhainer (Altdöberner) See als Nutzer (212.71) ist im Modell bereits vorgesehen.

Der potentielle Sulfateintrag wird über die Sulfatfracht im Modell bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitung aus dem Greifenhainer See in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung aus dem Greifenhainer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 35

Q – Ausleitung aus dem Greifenhainer See (Nutzer 212.71) in m^3/s.

Teil-SE Ausleitung aus dem Gräbendorfer See

Aus dem Gräbendorfer See wird seit 2007 in das Greifenhainer Fließ ausgeleitet. Im Mittel (Stichtagsmessungen Kalenderjahre 2014/2015) betrugen die Ausleitungsmengen 0,073 m^3/s. Im Modell wird die Ausleitung als Bilanzüberschuss (Wassermenge über Zielwasserstand) des Gräbendorfer Sees berechnet.

Neben dem Eigendargebot wird der Gräbendorfer See über die bedarfsweise Überleitung aus dem EZG Vetschauer Mühlenfließ (Überleitung über die Heideteiche bei Reddern) bevorteilt. Die Überleitungsmengen liegen im Jahr 2016 zwischen 0,006 und 0,130 m^3/s. Im Mittel ergibt sich eine Zuleitung von 0,05 m^3/s (LMBV , 2016a). Im Modell ist die Überleitungsmenge variabel eingebbar. Gegenwärtig wird 0,05 m^3/s im Modell angesetzt.

Die Sulfatkonzentration im Gräbendorfer See lag im März 2015 bei 509 mg/L und im März 2016 bei 493 mg/L, vgl. Abbildung 78. Für den Istzustand und für den Prognosehorizont 2026 werden in (IWB, 2016) Werte von 470 mg/L angegeben. Aufgrund der aktuellen Messergebnisse wird im Modell mit Werten von 500 mg/L gearbeitet, vgl. Tabelle 35. Der Prognosewert für den Zeithorizont 2100 von 350 mg/L wird wie in (IWB, 2016) angegeben, beibehalten.

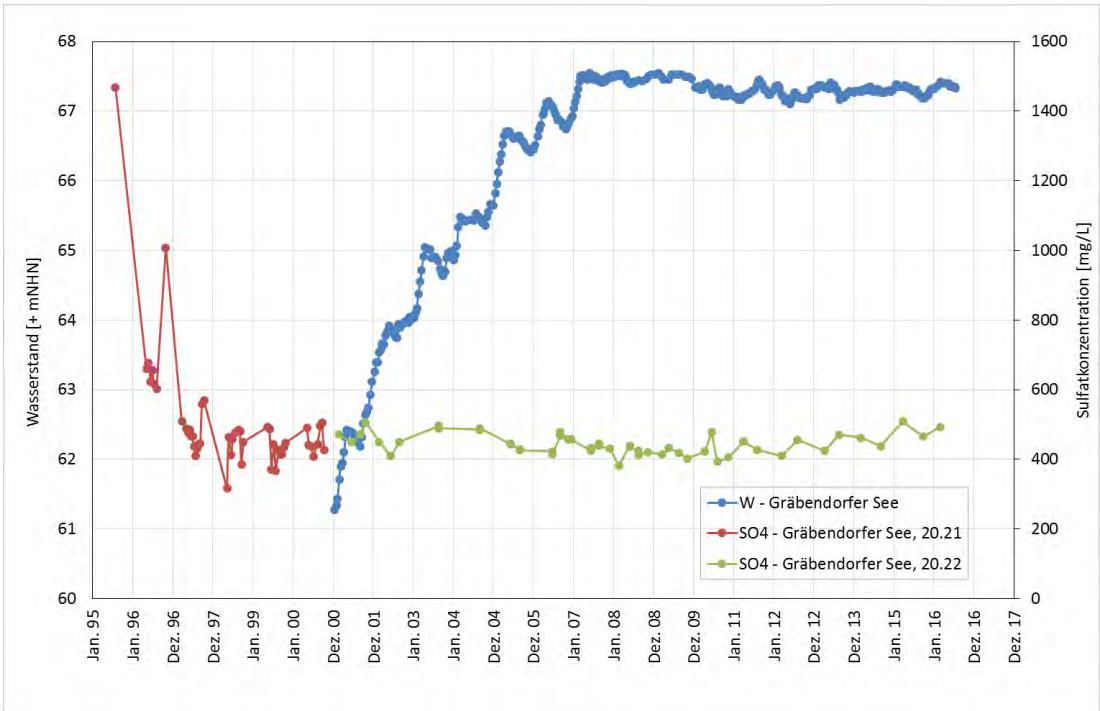


Abbildung 78: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 20.210 und 20.220) und Wasserstand (14tägig) – Gräbendorfer See

Die Ausleitung aus dem Gräbendorfer See wird im Modell über den Nutzer 212.81 berücksichtigt. Der Sulfateintrag wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitung aus dem Gräbendorfer See in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung aus dem Gräbendorfer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 35

Q – Ausleitung aus dem Gräbendorfer See (Nutzer 212.81) in m^3/s.

Teil-SE Überleitung aus der Spree in den Priorgraben

In WBalMo ist die Überleitung von der Spree in den Priorgraben über den Nutzer 206.2 enthalten.

Wie aus Abbildung 79 hervorgeht, liegen die Abflüsse am Pegel Cottbus-Madlow (Überleitung von der Spree in den Priorgraben) teilweise über den Abflüssen am Pegel Müschen, Paulicks-Mühle. Dies betrifft insbesondere hydrologische Verhältnisse mit geringen Abflüssen. Außerdem wird deutlich, dass der Abfluss am Pegel Müschen zum großen Anteil durch die Überleitung aus der Spree gespeist wird.

Betrachtet man Abbildung 80, ist insbesondere ab 2014 zu erkennen, dass die Sulfatkonzentrationen an der Messstelle GRHFL_0040 (bei Müschen) ebenfalls stark durch die Sulfatkonzentrationen der Überleitung aus der Spree geprägt sind.

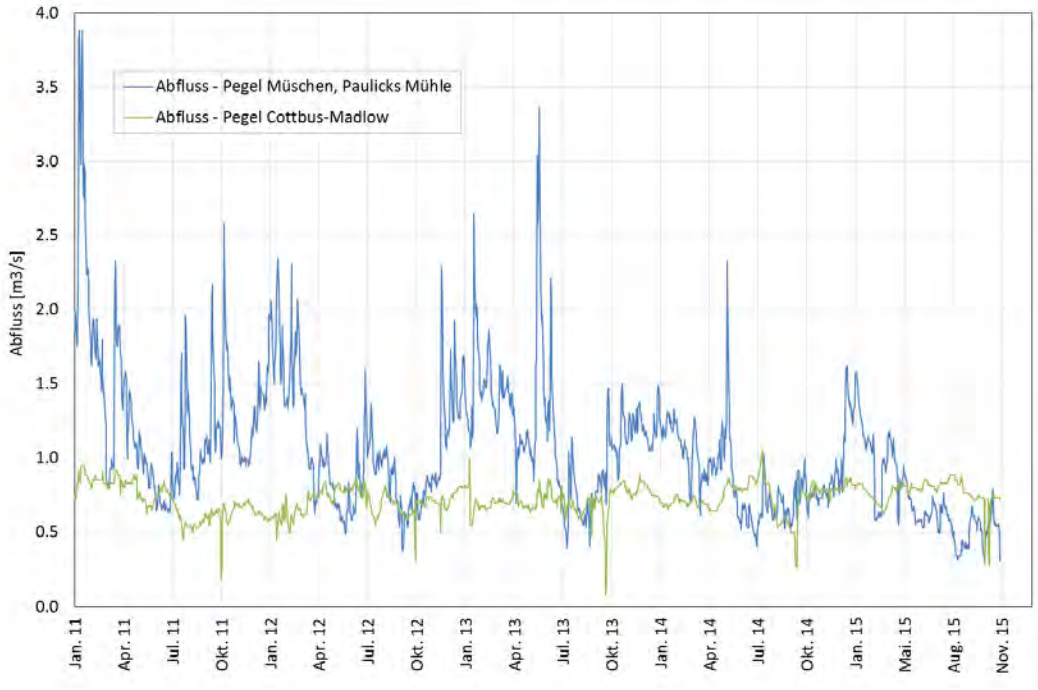


Abbildung 79: Vergleich der Abflüsse am Priorgraben (Pegel Cottbus-Madlow) und dem Greifenhainer Fließ (Pegel Müschen, Paulicks Mühle)

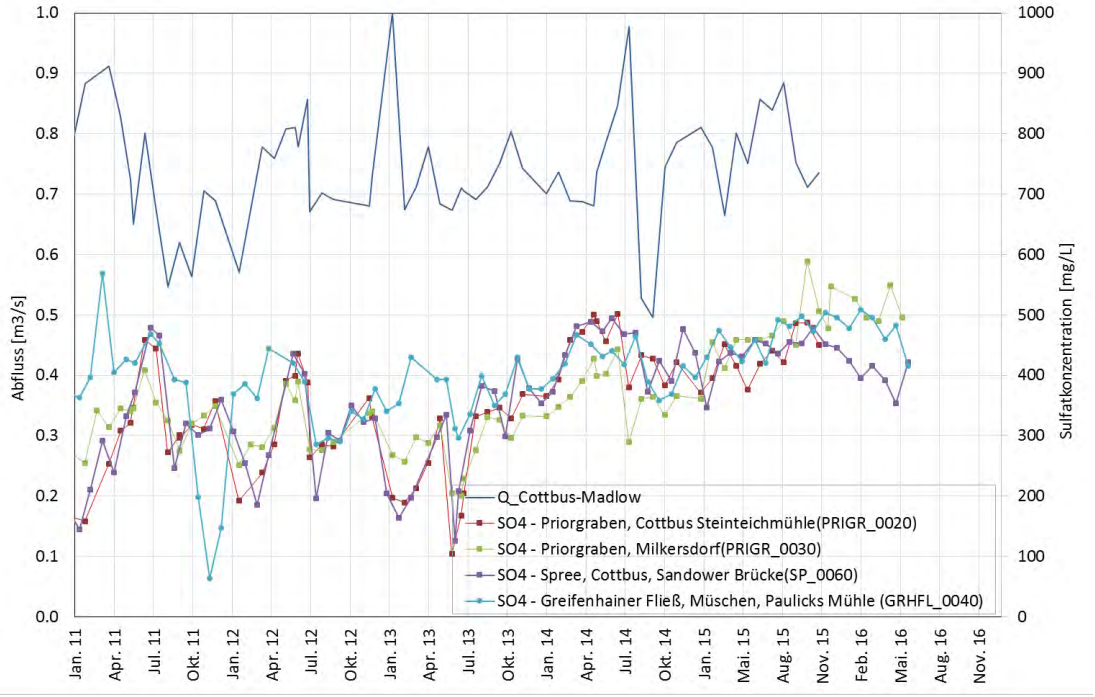


Abbildung 80: Vergleich der Sulfatkonzentrationen in der Spree (SP_0060), dem Priorgraben (PRIGR_0020, PRIGR_0030) und dem Greifenhainer Fließ (GRHFL_0040)

Der Sulfateintrag aus der Spree in den Priorgraben wird als Fracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht aus der Spree (Überleitung in den Priorgraben) in g/s

c – Sulfatkonzentration der Spree (Aussagequerschnitt Bräsinchen/Spree) in mg/L

Q – Überleitungsmenge von der Spree in den Priorgraben (Nutzer 206.2) in m^3/s.

Teil-SE Diffuse Sulfatquellen

Über die Fließgewässer im Einzugsgebiet erfolgt ein diffuser Sulfateintrag (z. B. aus den Niedermooren). Der Sulfateintrag für die Teileinzugsgebiete des Gräbendorfer und Greifenhainer Sees ist bereits in den Ausleitungen der Seen erfasst, so dass beim Teil-SE Diffuse Sulfatquellen nur das verbleibende Teileinzugsgebiet abflusswirksam wird.

Der Sulfateintrag wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der diffusen Sulfateinträge in g/s

c – Sulfatkonzentration der diffusen Sulfateinträge in mg/L
c = 70 mg/L (IWB, 2015f)

Q – Abfluss (Dargebot) aus dem Teileinzugsgebiet in m^3/s.

SE (gesamt) am EQ Pegel Müschen, Paulicks Mühle

Der Sulfateintrag am EQ Pegel Müschen, Paulicks Mühle wird über die Summe der Sulfatfrachten aus folgenden Teil-SE im EZG des Greifenhainer Fließes bilanziert:

- Teil-SE GWRA Rainitza – Ausleitung in das Neue Buchholzer Fließ
- Teil-SE GWBA Am Weinberg – Ausleitung in das Koselmühlenfließ
- Teil-SE Ausleitung aus dem Greifenhainer (Altdöberner) See
- Teil-SE Ausleitung aus dem Gräbendorfer See
- Teil-SE Überleitung aus der Spree in den Priorgraben
- Teil-SE Diffuse Sulfatquellen.

In Abbildung 81 sind die simulierten Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen dargestellt, die sich durch Summierung der Sulfatfrachten aus den Teil-SE ergeben. Wie bereits in der Beschreibung zur Überleitung aus der Spree in den Priorgraben herausgestellt wurde, ist im EZG des Greifenhainer Fließes bei hydrologischen Verhältnissen mit geringen Abflüssen eine mengenmäßige Abflussreduzierung am Pegel Müschen zu verzeichnen. D.h. bei geringen Abflüssen (im Sommerhalbjahr) kommt es zu bilanzmäßigen Verlusten im EZG, die sich auf die zahlreichen Entnahmen, eine erhöhte Verdunstung und Versickerung zurückführen lassen.

Daher erfolgt im Modell eine abflussabhängige Berechnung der Sulfatfrachten, vgl. Tabelle 36. Die simulierten Sulfatfrachten ergeben sich zu:

$FR_{EQ\ Müschen} = a * \sum FR_{Teil\text{-}SE}$.

Tabelle 36: Faktoren der abflussabhängigen Berechnung der Sulfatfracht am EQ Pegel Müschen

$Q_{EQ\ Müschen}$	Faktor a
$Q \leq 0{,}6\ m^3/s$	0,4
$0{,}6\ m^3/s < Q \leq 0{,}9\ m^3/s$	0,6
$Q > 0{,}9\ m^3/s$	1

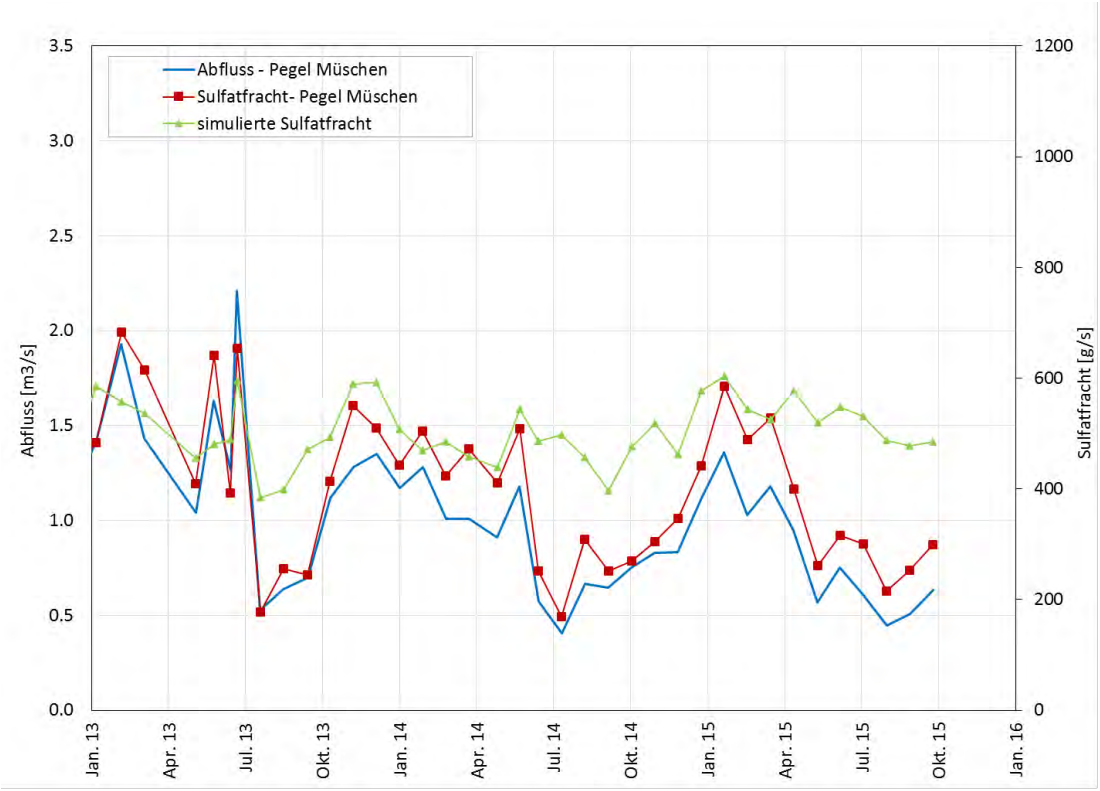


Abbildung 81: Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen ohne abflussabhängige Reduzierung

In Abbildung 82 sind die Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen den abflussabhängig simulierten Sulfatfrachten gegenübergestellt. Gegenüber Abbildung 81 ist die Reduzierung der Frachten bei geringen Abflüssen deutlich zu erkennen. Abbildung 82 zeigt den Vergleich der gemessenen und simulierten Sulfatkonzentrationen am EQ Pegel Müschen.

Die simulierten Ergebnisse zeigen eine (befriedigende bis) gute Anpassung.

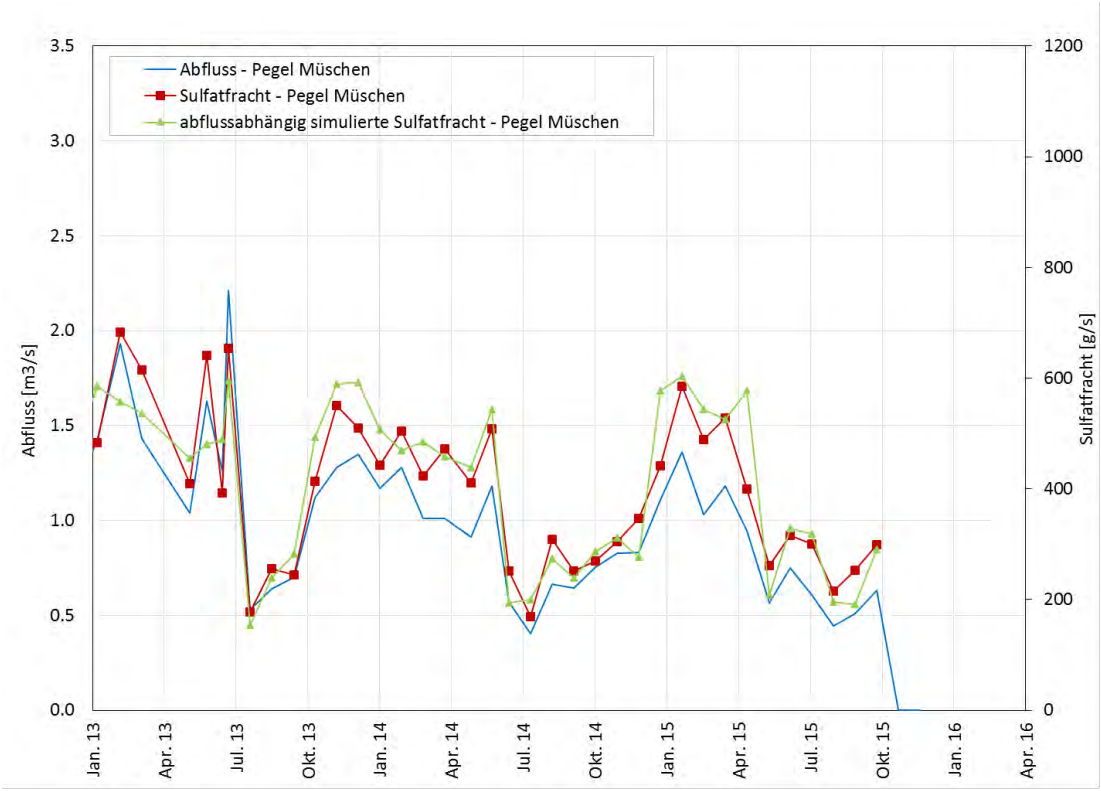


Abbildung 82: Vergleich der berechneten und simulierten Sulfatfrachten am EQ Pegel Müschen

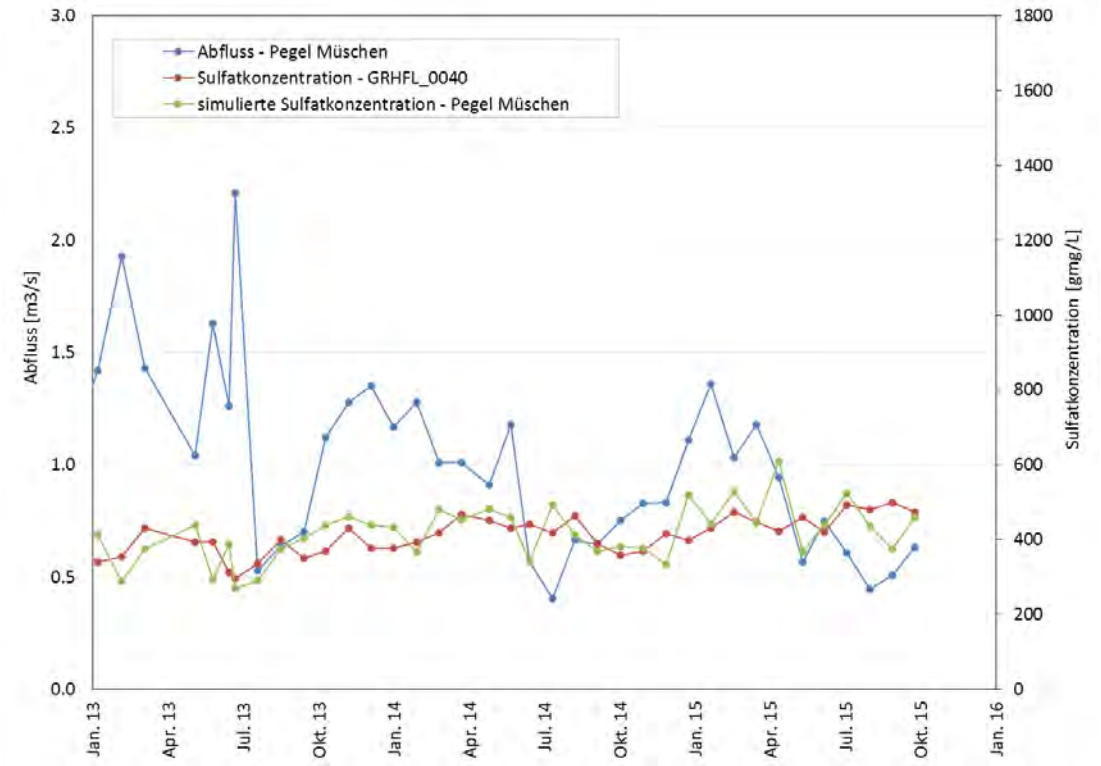


Abbildung 83: Vergleich der gemessenen und simulierten Sulfatkonzentrationen am EQ Pegel Müschen

Tabelle 37: Güte der Simulation – EQ Pegel Müschen, Paulicks Mühle / Greifenhainer Fließ

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Jan. 2013 – Okt. 2015	37	0,890	0,765	13,4
Sulfatkonzentration	Jan. 2013 – Okt. 2015	37	0,474	-0,714	13,4

Empfehlung für weitergehende Untersuchungen

Bei relevanten Änderungen der Abflussverhältnisse im Einzugsgebiet (z. B. Ausleitung aus dem Greifenhainer See nach Erreichen des Endwasserstandes) wird die Verifizierung der aufgestellten Beziehung zur Ermittlung der Sulfatfracht und Sulfatkonzentration empfohlen.

2.2.3.2 Vetschauer Mühlenfließ

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet des Vetschauer Mühlenfließes als Simulationsteilgebiet STG 13 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Bilanzpunkt (BP 214) Pegel Vetschau verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Ausleitung aus der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern
- diffuse Sulfatquellen.

Sulfat-Eintragsmodul SE

In Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Teil-SE GWRA Rainitza – Ausleitung in die Vorflut Altdöbern (Vetschauer Mühlenfließ)

Wie bereits im Kapitel 2.2.3.1 beschrieben, wird Wasser von der GWRA Rainitza über ein Verteilerbauwerk in die Vorflut Altdöbern (EZG Vetschauer Mühlenfließ) und das Neue Buchholzer Fließ (EZG Greifenhainer Fließ) eingeleitet. Die Abgabe in die Vorflut Altdöbern wird durch die Kapazität der Druckleitung von der GWRA Rainitza auf 0,5 m^3/s begrenzt (LMBV , 2016a).

Im Modell ist die Aufteilung der Ausleitung aus der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern und in das Neue Buchholzer Fließ variabel vorgebbar. Gegenwärtig ist die Aufteilung von 50 % angesetzt, vgl. Tabelle 33.

Wie aus Abbildung 76 hervorgeht, liegen die Sulfatkonzentrationen der Ausleitungen der GWRA Rainitza im Zeitraum von 2009 bis 2016 zwischen ca. 600 und 900 mg/L. Im Jahr 2015 liegt der Mittelwert der gemessenen Sulfatkonzentration bei 680 mg/L. Für die Prognose wird von 760 mg/L, Sulfatkonzentration Sedlitzer See in (BTU Cottbus, 2012), ausgegangen.

Im Modell wird der Sulfateintrag über die Sulfatfracht bilanziert:

$FR = c * Q$

wobei

FR – Sulfatfracht aus der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung der GWRA Rainitza in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 33

Q – Abfluss im WBalMo für den Nutzer GWRA Rainitza (432.2) in m^3/s.

Teil-SE Diffuse Sulfatquellen

Über die Fließgewässer im Einzugsgebiet erfolgt ein diffuser Sulfateintrag im Einzugsgebiet.

In Abbildung 84 sind die Sulfatkonzentration an der Messstelle VEMFL_0030 (bei Vetschau), der Abfluss am Pegel Vetschau sowie die Ausleitung der GWRA Rainitza in die Vorflut Altdöbern (EZG Vetschauer Mühlenfließ) dargestellt.

Anhand der Abflussganglinie kann davon ausgegangen werden, dass sich die Bewirtschaftung im Einzugsgebiet ab 2011 nicht mehr wesentlich geändert hat. Daher wurde die Datenreihe ab 2011 für die Ermittlung des Sulfateintragsmoduls am EQ Pegel Vetschau verwendet.

Am Pegel Vetschau wird der Gesamtabfluss aus dem EZG gemessen, der auch die Überleitung aus der GWRA Rainitza in das EZG Vetschauer Mühlenfließ und die Ableitung in das EZG Greifenhainer Fließ (Überleitung über Heideteiche bei Reddern) berücksichtigt. Für die Ermittlung der Beziehung zur Berechnung der Sulfatfracht bzw. Sulfatkonzentration des Teil-SE Diffuse Sulfatquellen wurde der gemessene Abfluss am Pegel Vetschau um die Ausleitung aus der GWRA in das EZG Vetschauer Mühlenfließ reduziert.

Analog zum Abfluss wurde die Sulfatfracht für den Gewässerquerschnitt Pegel Vetschau berechnet (Sulfatkonzentration der Messstelle VEMFL_0030 mal Abfluss Pegel Vetschau) und um die Sulfatfracht aus der Ausleitung der GWRA Rainitza in das EZG Vetschauer Mühlenfließ reduziert.

Aus den 61 synchronen Wertepaaren von Abfluss und Sulfatkonzentration wurde folgende Beziehung für die Berechnung der Sulfatkonzentration abgeleitet:

$c = 528{,}53 * e^{-0.323 * Q}$ (Bestimmtheitsmaß: 0,41)

wobei

c – Sulfatkonzentration für den diffusen Sulfateintrag im EZG am Gewässerquerschnitt Pegel Vetschau mg/L

Q – Abfluss aus dem EZG am Gewässerquerschnitt Pegel Vetschau in m^3/s.

An der Messstelle 10.200.S liegen ebenfalls lange Beobachtungsreihen der Sulfatkonzentration vor. Unter Einbeziehung der Messergebnisse dieser Messstelle wurden jedoch keine besseren Ergebnisse erzielt als mit der Messstelle VEMFL_0030.

In Abbildung 85 sind die berechneten und simulierten Sulfatkonzentrationen am Pegel Vetschau für das Teil-SE Diffuse Sulfatquellen im EZG dargestellt. Die simulierten Werte zeigen eine gute Anpassung. Das Mittel der berechneten Sulfatkonzentration liegt bei 380 mg/L (Stichtage 2011 – 2015).

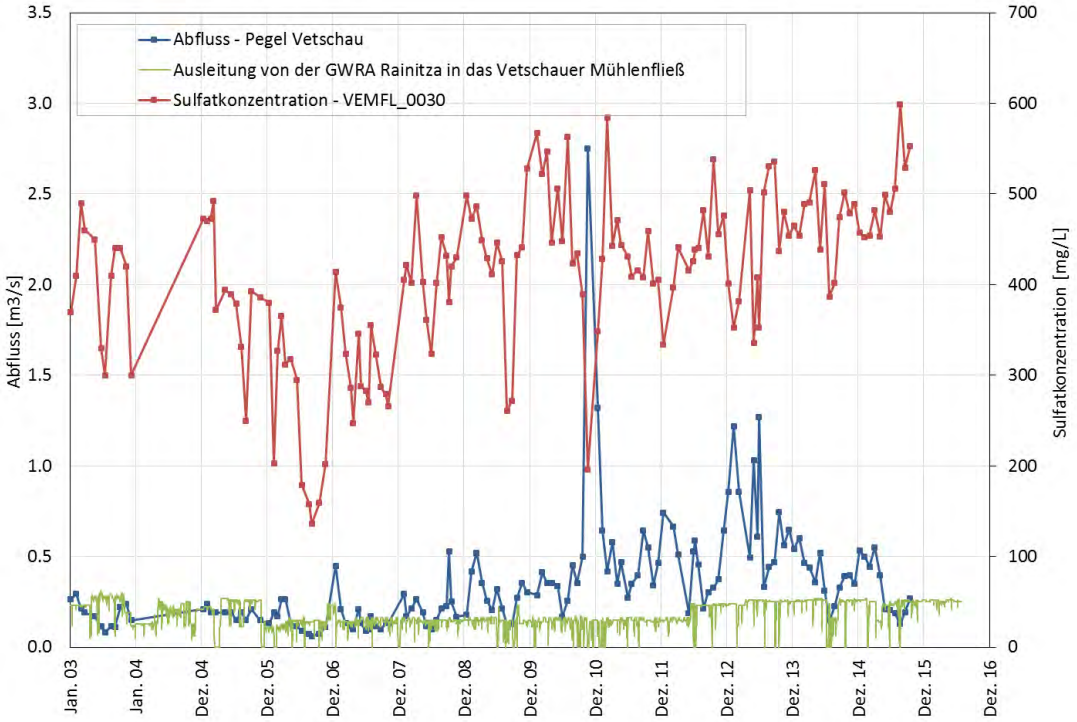


Abbildung 84: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, VEMFL_0030), Abfluss am Pegel Vetschau (synchrone Tageswerte) und Ausleitung der GWRA Rainitza in das EZG Vetschauer Mühlenfließ

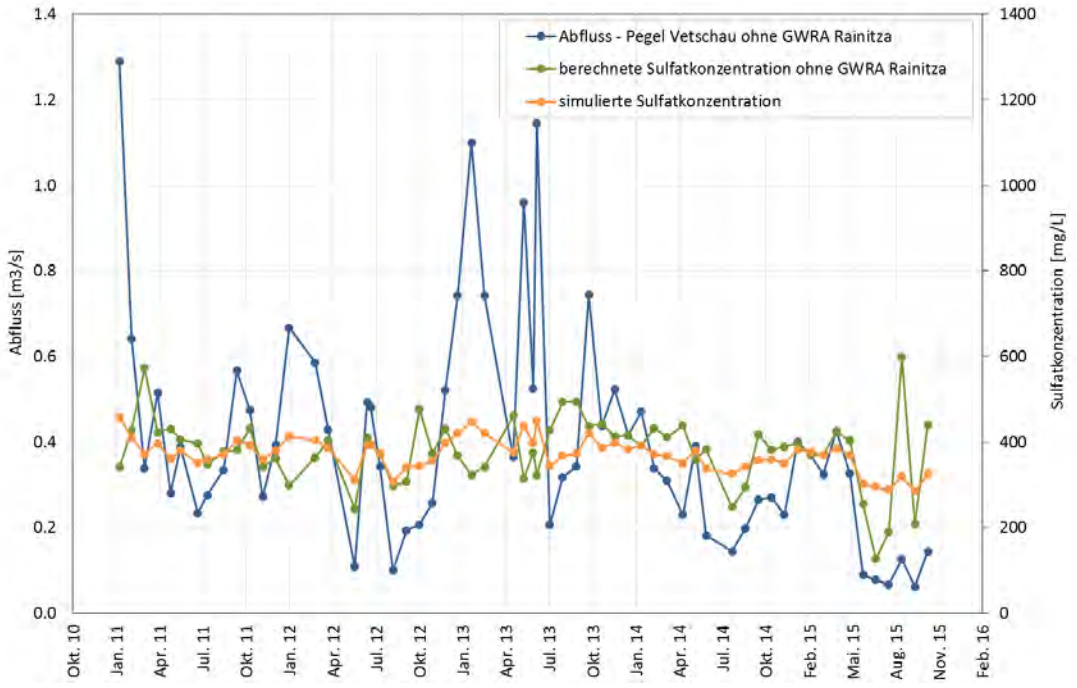


Abbildung 85: Vergleich der berechneten und simulierten Sulfatkonzentrationen am Pegel Vetschau für das Teil-SE Diffuse Sulfatquellen im EZG

Am EQ Pegel Vetschau wurden die Frachten der beiden Teil-SE summiert und die Sulfatkonzentration abgeleitet. Die abgeleitete Sulfatkonzentration zeigt keine plausiblen

Werte. Wenn jedoch die Sulfatkonzentration mit 400 mg/L für den diffusen Sulfateintrag im EZG angesetzt wird, ergeben sich gute Simulationsergebnisse, vgl. Abbildung 87.

Die 400 mg/L sind aus dem Mittel der berechneten Sulfatkonzentration für den diffusen Sulfateintrag im EZG abgeleitet, der bei 380 mg/L (Stichtage 2011 – 2015) liegt. Die 400 mg/L sind für den Istzustand und den Prognosehorizont zu verwenden.

Der Sulfateintrag wird über die Fracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

c – Sulfatkonzentration für den diffusen Sulfateintrag im EZG von 400 mg/L

FR – Sulfatfracht aus dem EZG am Gewässerquerschnitt Pegel Vetschau in g/s.

SE (gesamt) am EQ Pegel Vetschau

Der Sulfateintrag am EQ Pegel Vetschau wird über die Summe der Sulfatfrachten aus den Teil-SE GWRA Rainitza und Teil-SE Diffuse Sulfatquellen im EZG Vetschauer Mühlenfließ bilanziert.

In der Abbildung 86 ist für den EQ Pegel Vetschau die simulierte und die gemessene Sulfatfracht und in Abbildung 87 die Sulfatkonzentration dargestellt.

Die simulierten Werte zeigen eine gute zeitliche und mengenmäßige Übereinstimmung, vgl. Tabelle 38.

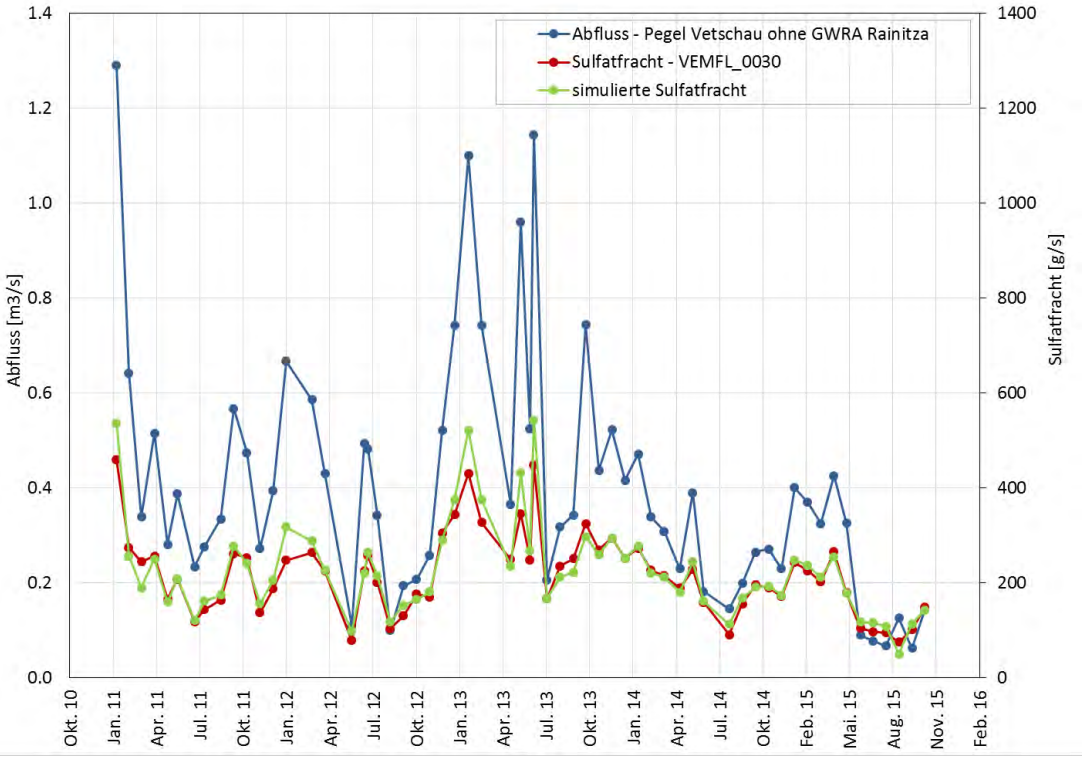


Abbildung 86: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ

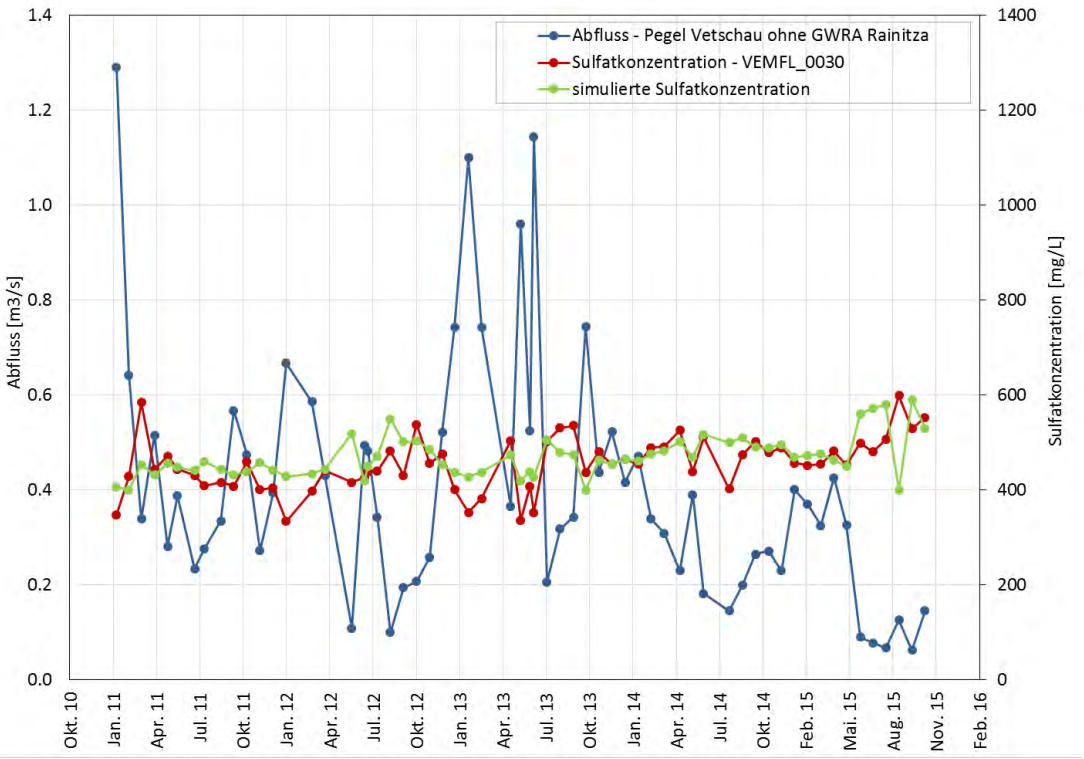


Abbildung 87: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ

Tabelle 38: Güte der Simulation – EQ Pegel Vetschau / Vetschauer Mühlenfließ

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Jan. 2011 – Okt. 2015	61	0,967	0,884	8,8
Sulfatkonzentration	Jan. 2011 – Okt. 2015	61	0,489	0,122	8,8

2.2.3.3 Göritzer Mühlenfließ

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet des Göritzer Mühlenfließes als Teilgebiet des Simulationsteilgebiets STG 19 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Gewässerquerschnitt Pegel Göritz verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Überleitung von der Kleptna (EZG Dobra)
- diffuse Sulfatquellen.

Sulfat-Eintragsmodul SE

In Abbildung 75ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Teil-SE Überleitung von der Kleptna (im Modell zum EQ Pegel Boblitz /Dobra)
Bedarfsweise findet eine Überleitung vom Oberlauf der Kleptna (Einzugsgebiet der Dobra) über den Saßlebener Ableiter in das Göritzer Mühlenfließ statt.

Für das Sulfateintragsmodul in WBalMo am EQ Pegel Göritz Nr. 195 wird die bedarfsweise Überleitung aus dem Einzugsgebiet der Dobra (Oberlauf der Kleptna) nicht berücksichtigt. Die Sulfatfracht aus dem Oberlauf der Kleptna geht in das Sulfateintragsmodul für den EQ Ragow 2 / Dobra in das Modell ein.

Da die Tageswerte des Abflusses am Pegel Göritz Nr. 195 (58 370.0) nur bis zum 31.12.2014 vorliegen und die (näherungsweisen) Überleitungsmengen der Messstelle Klp10 monatlich ab April 2015 beobachtet wurden, liegen keine synchronen Messwerte für die beiden Messstellen vor, um die Überleitung aus den Abflüssen am Pegel Göritz herausrechnen zu können.

Synchrone Messwerte liegen für die Messstelle Klp10 und GMF07 vor, jedoch nur im Zeitraum April 2015 bis Juni 2016 (monatliche Stichtagsmessungen), vgl. Abbildung 88.

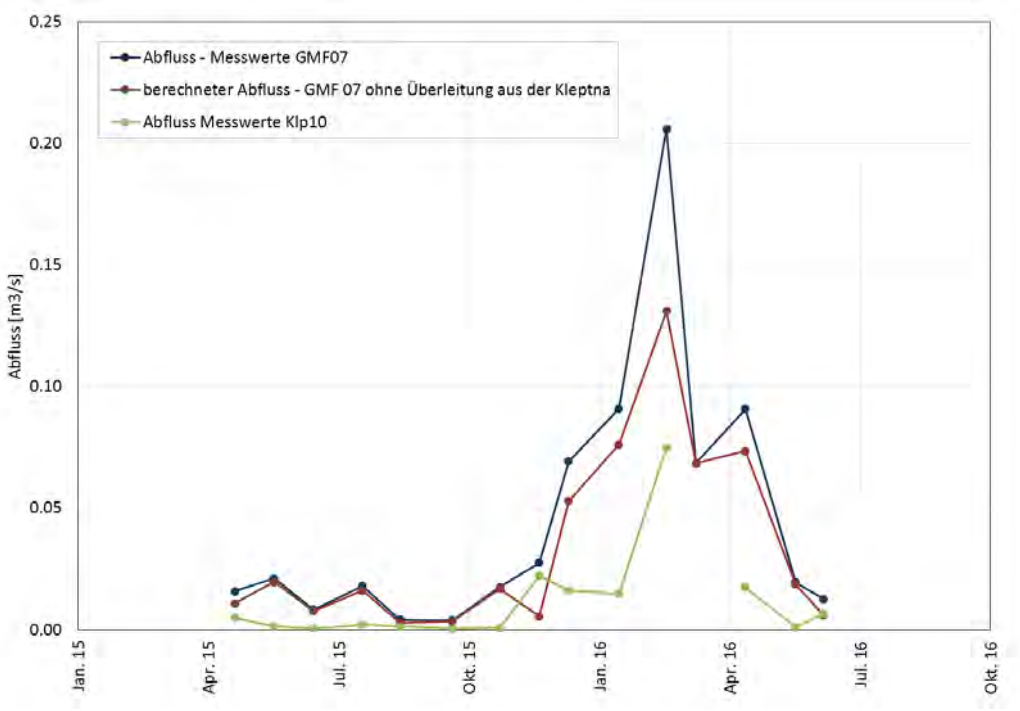


Abbildung 88: Abfluss an der Messstelle GMF07 / Göritzer Mühlenfließ, reduziert um die bedarfsweise Überleitung aus dem Oberlauf der Kleptna

SE am EQ Pegel Göritz Nr. 195
Wie bereits oben beschrieben, konnten die Abflüsse am Pegel Göritz Nr. 195 nicht um die Überleitung aus der Kleptna reduziert werden. Das Sulfateintragsmodul für den EQ Pegel Göritz Nr. 195 wurde daher näherungsweise über die Beobachtungsdaten von April 2015 bis Juni 2016 (15 Wertepaare von Abfluss und Sulfatkonzentration) der Messstelle GMF07 ermittelt.

Die Sulfatkonzentration am EQ Pegel Göritz Nr. 195 ergibt sich aus:

$c = 73{,}96 * Q^{-0{,}372}$

wobei

c – Sulfatkonzentration am EQ Pegel Göritz Nr. 195 in mg/L

Q – Abfluss am EQ Pegel Göritz Nr. 195 in m^3/s.

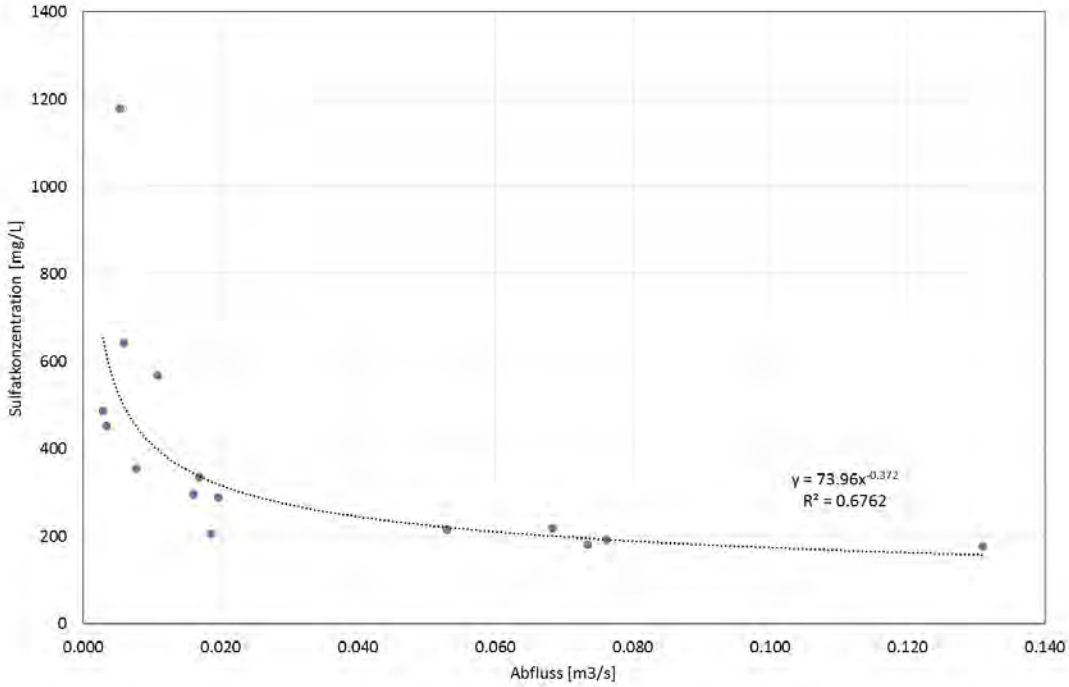


Abbildung 89: Beziehung zwischen Abfluss an der Messstelle GMF07 / Göritzer Mühlenfließ, reduziert um die bedarfsweise Überleitung aus dem Oberlauf der Kleptna und der Sulfatkonzentration an der Messstelle GMF07

In der Abbildung 90 sind für den Gewässerquerschnitt GMF07 die simulierte Sulfatfracht und die berechnete Sulfatfracht und in Abbildung 91 die simulierte Sulfatkonzentration und die berechnete Sulfatkonzentration jeweils ohne Frachtanteil aus der Kleptna dargestellt.

Die simulierten Ergebnisse zeigen eine gute zeitliche und mengenmäßige Übereinstimmung, vgl. Tabelle 39.

Es wird empfohlen, bei Vorlage längerer Reihen von synchronen Werten von Q und c, die o. g. Beziehung zu verifizieren.

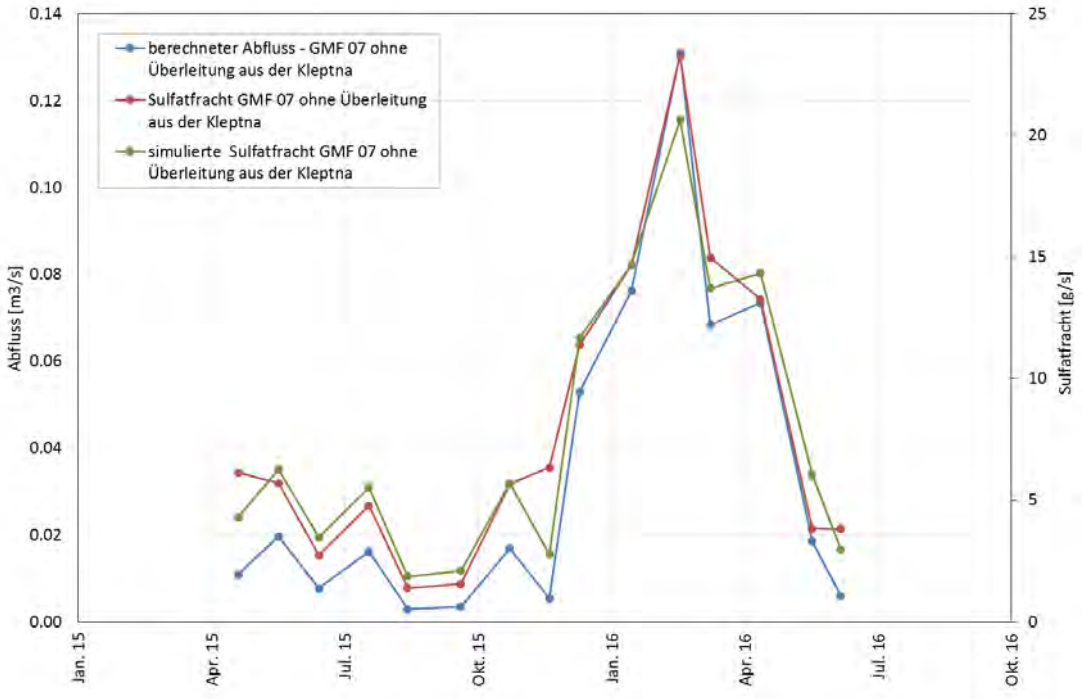


Abbildung 90: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Göritz Nr. 95 / Göritzer Mühlenfließ (näherungsweise wurde die Messstelle GMF07 verwendet)

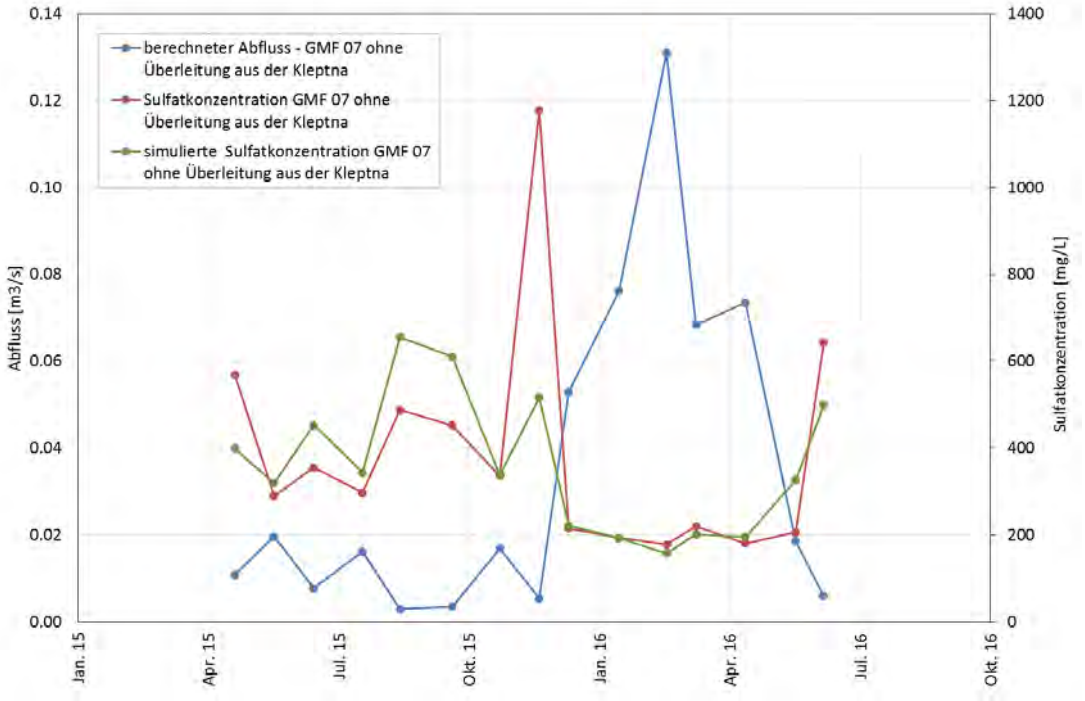


Abbildung 91: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Göritz Nr. 95 / Göritzer Mühlenfließ (näherungsweise wurde die Messstelle GMF07 verwendet)

Tabelle 39: Güte der Simulation – EQ Pegel Göritz Nr. 195 / Göritzer Mühlenfließ

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	April 2015 – Juni 2016	15	0,970	0,942	21,4
Sulfatkonzentration	April 2015 – Juni 2016	15	0,655	0,455	21,4

Empfehlung für weitergehende Untersuchungen

Bei Vorliegen längerer Abflussreihen (z. B. für die Jahre 2015 und 2016) am Pegel Göritz Nr. 195 und synchronen Sulfatkonzentrationen an der Messstelle GMF07 wird die Verifizierung der aufgestellten Beziehung zur Ermittlung der Sulfatkonzentration empfohlen.

2.2.3.4 Dobra

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet der Dobra als Simulationsteilgebiet STG 14 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Bilanzpunkt (216) Pegel Boblitz verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Ausleitung aus dem Drehnaer See (RL 12)
- Ausleitung aus dem Schönfelder See (RL 4
- Ausleitung aus dem Kittlitzer See (RL 1a)
- Ausleitung aus dem Redlitzer See (RL 1)
- Ausleitung aus dem Bischdorfer See (RL 23)
- Überleitung vom Lichtenauer See (RL F) über den Lichtenauer Graben in die Dobra
- diffuse Sulfatquellen (u. a. Niedermoore bei Garrenchen, Willmersdorf und Alteno).

Sulfat-Eintragsmodul SE

In Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Teil-SE Ausleitungen aus dem Drehnaer See (RL 12)

Der Zielwasserstand (geotechnischer Grenzwasserstand) von +71,00 m NHN wurde im Januar 2012 überschritten, vgl. Abbildung 92. Bilanzüberschüsse des Drehnaer Sees (RL 12) werden in die Dobra seit Mai 2014 abgeleitet (Pumpbetrieb).

Die Sulfatkonzentration lag im Dezember 2015 bei 684 mg/L. Für den Istzustand und für den Prognosehorizont 2026 werden in (IWB, 2016) Werte von 680 mg/L und für den Prognosehorizont 2100 von 400 mg/L angegeben, vgl. Tabelle 40.

Der Sulfateintrag der Ausleitung aus dem Drehnaer See (RL 12 wird als Sulfatfracht bilanziert:

$FR = c * Q$

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitungen aus dem Drehnaer See (RL 12) in g/s

c – Sulfatkonzentration im Drehnaer See (RL 12) in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 40

Q –Ausleitungen aus dem Drehnaer See (RL 12) in m^3/s.

Abbildung 92: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.140) und Wasserstand (wöchentlich) – Drehnaer See

Tabelle 40: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG der Dobra

See	Ist	Prognose	Prognose	Quelle
	2015	2026	2100	
Schönfelder See	780	780	500	(IWB, 2016)
Drehnaer See	680	680	400	(IWB, 2016)
Bischdorfer See	550	550		DHI WASY

Teil-SE Ausleitungen aus dem Schönfelder See (RL 4)

Der Wasserstand im Schönfelder See (RL 4) liegt im Jahresmittel 2015 bei +53,10 m NHN, vgl. Abbildung 93. Bilanzüberschüsse des Schönfelder Sees (RL 4) werden in die Dobra abgeleitet.

Die Sulfatkonzentration zeigt tendenziell einen weiteren Anstieg und lag im März 2016 bei 792 mg/L. Für den Istzustand und für den Prognosehorizont 2026 werden in (IWB, 2016) Werte von 780 mg/L und für den Prognosehorizont 2100 von 500 mg/L angegeben, vgl. Tabelle 40.

Der Sulfateintrag der Ausleitung aus dem Schönfelder See (RL 4) wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitungen aus dem Schönfelder See (RL 4) in g/s

c – Sulfatkonzentration im Schönfelder See (RL 4) in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 40

Q –Ausleitungen aus dem Schönfelder See (RL 4) in m^3/s.

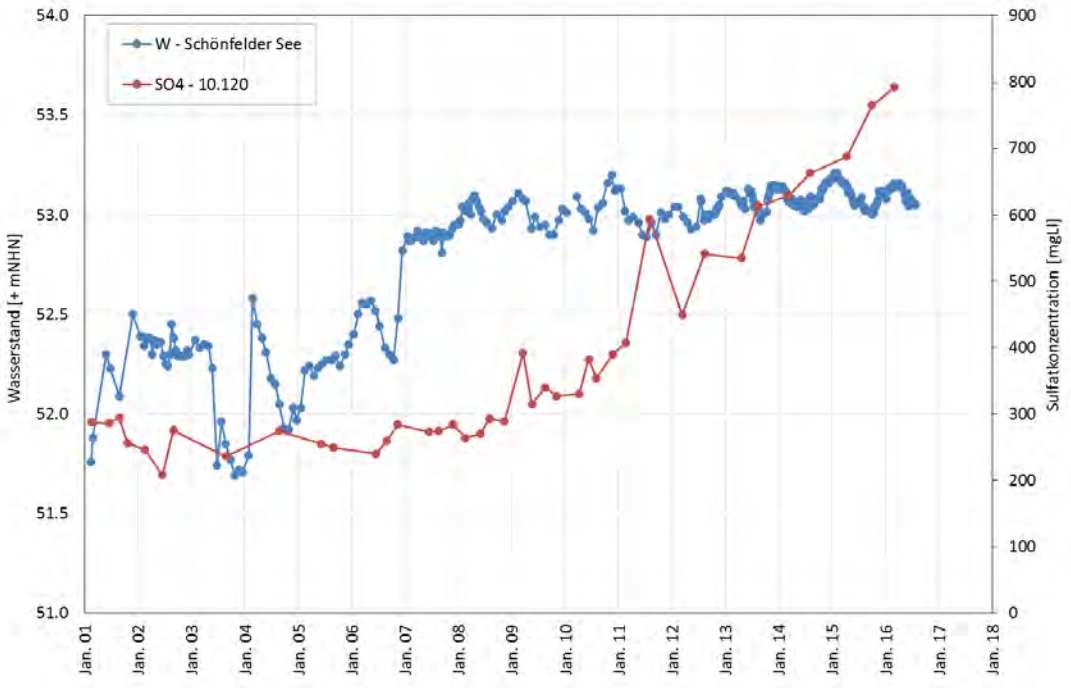


Abbildung 93: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.120) und Wasserstand (wöchentlich) – Schönfelder See

Teil-SE Ausleitungen aus dem Bischdorfer See (RL 23)

Der Zielwasserstand (geotechnischer Grenzwasserstand) im Bischdorfer See (RL 23) von +57,30 m NHN wurde im Februar 2013 überschritten, vgl. Abbildung 94. Seit Oktober 2013 wird Wasser vom Bischdorfer See (RL 23) in den Kleptna-Betonkanal, der in die Dobra mündet, ausgeleitet.

Die Sulfatkonzentration zeigt ab 2015 einen leichten Anstieg und lag im Juni 2016 bei 552 mg/L. Für den Istzustand und den Prognosehorizont 2026 wird von einer Sulfatkonzentration von 550 mg/L ausgegangen, vgl. Tabelle 40.

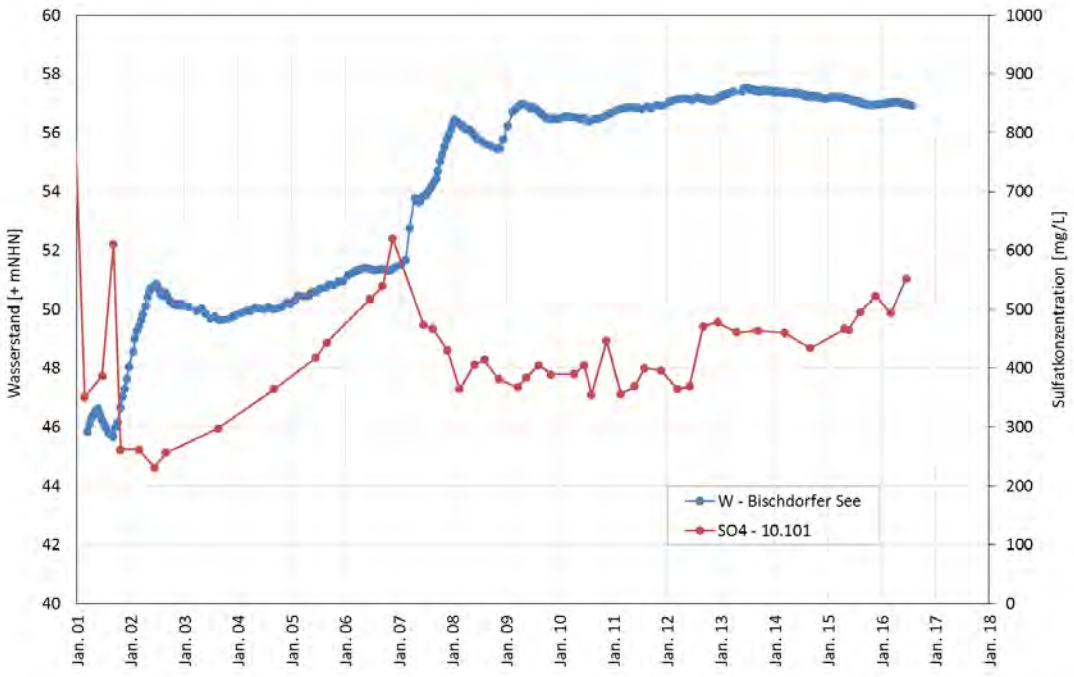


Abbildung 94: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.101) und Wasserstand (wöchentlich) – Bischdorfer See

Der Sulfateintrag der Ausleitungen aus Bischdorfer See (RL 23) wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitungen aus dem Bischdorfer See (RL 23) in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitungen aus dem Bischdorfer See (RL 23) Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 40

Q –Ausleitungen aus dem Bischdorfer See (RL 23) in m^3/s.

Teil-SE Diffuse Sulfatquellen sowie Redlitzer See (RL 1) und Kittlitzer See (RL 1a)
Über die Fließgewässer im Einzugsgebiet erfolgt ein diffuser Sulfateintrag. Der Sulfateintrag für die Teileinzugsgebiete des Drehnaer Sees (RL 12), des Schönfelder Sees (RL 4) und des Bischdorfer Sees (RL 23) sind bereits in dem jeweiligen Teil-SE der Ausleitung aus den Seen erfasst, so dass beim Teil-SE Diffuse Sulfatquellen nur das verbleibende Teileinzugsgebiet einschließlich des Kittlitzer Sees (RL 1a) und Redlitzer Sees (RL 1) abflusswirksam wird.

Auf die Überleitung vom Oberlauf der Kleptna über den Saßlebener Ableiter in das Göritzer Mühlenfließ wurde bereits in Kapitel 2.2.3.3 eingegangen. Die Sulfatfracht des Oberlaufes der Kleptna wird im Modell ebenfalls innerhalb des Teil-SE Diffuse Sulfatquellen des EZG Dobra erfasst.

Wie die Berechnungsergebnisse zeigen, wird mit der Sulfatkonzentration von 70 mg/L (IWB, 2015f) auch der Eintrag aus dem Redlitzer See, dem Kittlitzer See und dem Oberlauf der Kleptna gut wiedergegeben.

Der Sulfateintrag wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der diffusen Sulfateinträge in g/s

c – Sulfatkonzentration aus dem Teileinzugsgebiet in mg/L
c = 70 mg/L (IWB, 2015f)

Q – Abfluss (Dargebot) aus dem Teileinzugsgebiet in m^3/s.

Teil-SE Überleitung vom Lichtenauer See (RL F) in die Dobra
Die Ermittlung der Sulfatfracht der Überleitung aus dem Lichtenauer See (RL F) über den Lichtenauer Graben in die Dobra ist in Kapitel 2.2.3.5 beschrieben. Diese Sulfatfracht wird im Modell als Teil-SE am EQ Pegel Boblitz / Dobra bilanziert.

SE (gesamt) am EQ Pegel Boblitz
Der Sulfateintrag am EQ Pegel Boblitz wird über die Summe der Sulfatfrachten aus folgenden Teil-SE im EZG der Dobra bilanziert:

- Teil-SE Ausleitungen aus dem Drehnaer See (RL 12)
- Teil-SE Ausleitungen aus dem Schönfelder See (RL 4)
- Teil-SE Ausleitungen aus dem Bischdorfer See (RL 23)
- Teil-SE Überleitung vom Lichtenauer See (RL F) in die Dobra
- Teil-SE Diffuse Sulfatquellen sowie Redlitzer See (RL 1) und Kittlitzer See (RL 1a).

In Abbildung 95 sind die gemessenen und die simulierten Sulfatfrachten und in Abbildung 96 die Sulfatkonzentrationen am Pegel Boblitz für den Zeitraum Jan. – Oktober 2015 (gleich Ableitung der Beziehung für den Istzustand) gegenübergestellt.

Die simulierten Werte zeigen eine gute Anpassung an die gemessenen Werte, vgl. Tabelle 41.

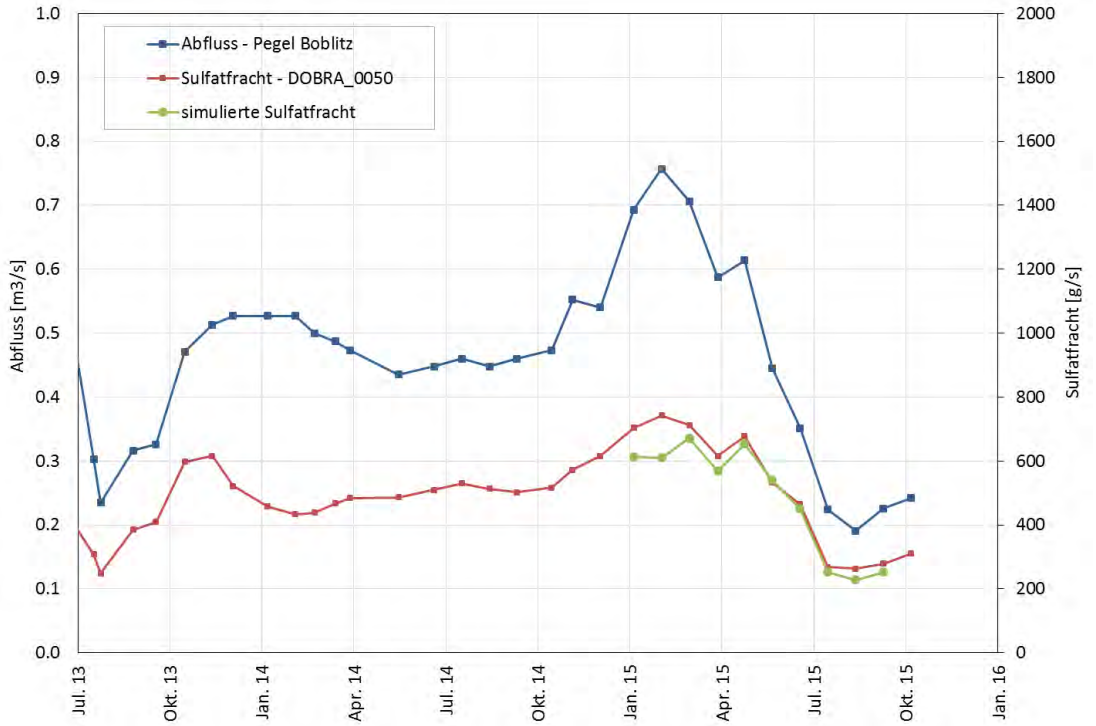


Abbildung 95: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht am EQ Pegel Boblitz

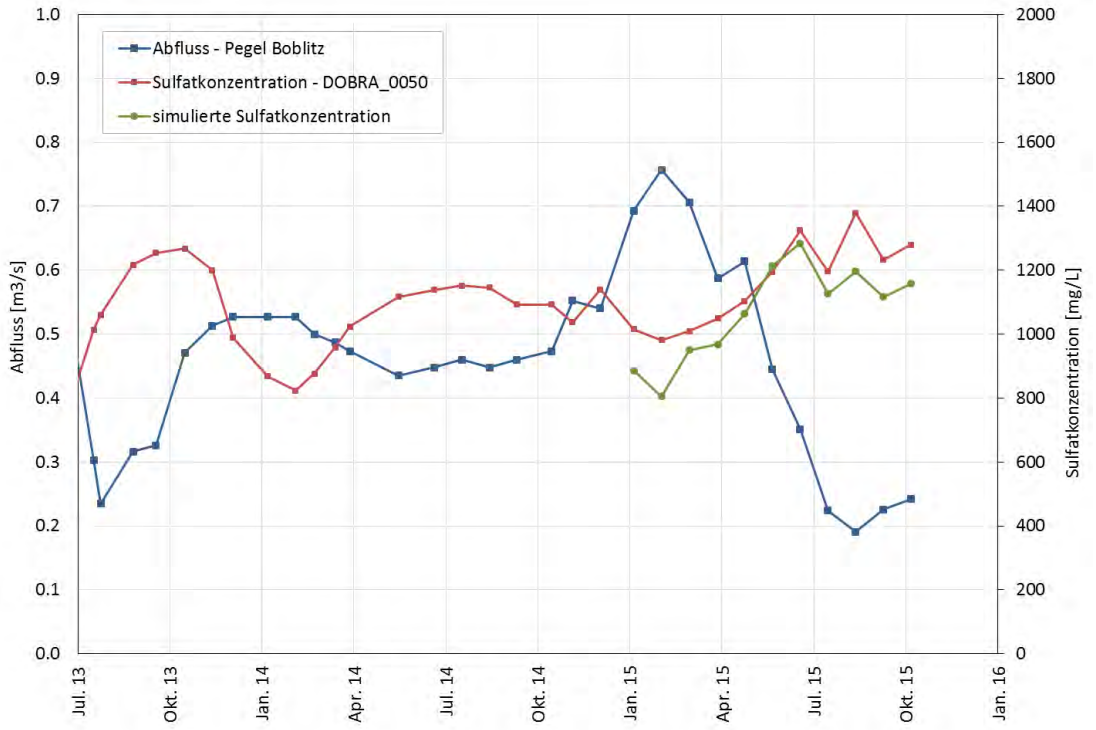


Abbildung 96: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration am EQ Pegel Boblitz

Tabelle 41: Güte der Simulation – EQ Pegel Ragow 2 /Dobra

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Jan. – Okt. 2015	11	0,983	0,921	8,2
Sulfatkonzentration	Jan. – Okt. 2015	11	0,913	0,382	8,2

Empfehlung für weitergehende Untersuchungen

Bei Vorliegen längerer Reihen von Abfluss und Sulfatkonzentration für annähernd gleiche Bewirtschaftungsverhältnisse (z. B. für das Jahr 2016) wird die Verifizierung der aufgestellten Beziehung zur Ermittlung der Sulfatkonzentration empfohlen.

2.2.3.5 Groß Beuchower Dorfgraben

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet des Groß Beuchower Dorfgrabens ein Teilgebiet vom Simulationsteilgebiet STG 19. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Gewässerquerschnitt Auslauf Lichtenauer See in den Groß Beuchower Dorfgraben (Gewässeralias für den Auslauf ist Beuchower Westgraben) verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Ausleitung aus dem Lichtenauer See (RL F) in den Beuchower Westgraben
- Überleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lichtenauer See (RL F)
- diffuse Sulfatquellen.

Die Tornower Niederung (Tornower Seen) ist ein Binneneinzugsgebiet, welches oberhalb des Lichtenauer Sees liegt. Die Niederung ist daher im Modell nicht als Punktquelle für die Sulfatfracht enthalten.

Sulfat-Eintragsmodul SE

In Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Aus [(IWB, 2015e)], [(IWB Dresden, 2015d)] und [(GWZ Dresden/IWB Dresden, 2015e)] geht hervor:

Seit Mai 2013 wird Wasser aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lichtenauer See (RL F) übergeleitet (Pumpbetrieb, Rohrleitung). Darüber hinaus erfolgt eine Überleitung (Pumpbetrieb) von Wasser aus dem Lichtenauer See (RL F) über den Lichtenauer Graben zur Dobra. Die Ausleitung vom Lichtenauer See in den Beuchower Westgraben erfolgt bei Wasserständen unter +54,5 m NHN ebenfalls über Pumpbetrieb. Seit April 2011 erfolgt die Ausleitung (Pumpbetrieb) vom RL F in den Beuchower Westgraben und seit Februar 2013 in den Lichtenauer Graben (Pumpbetrieb), wobei die Ausleitung zum Halten des Seewasserstandes vorrangig über den Lichtenauer Graben erfolgt (vgl. auch Teilabschnitt „Ausleitungen in den Beuchower Westgraben und den Lichtenauer Graben“ weiter unten in diesem Kapitel).

Lichtenauer See (RL F)

Das unterste Absenkziel von +54,0 m NHN wurde im November 2010 erreicht. Im Zeitraum von November 2010 bis Juli 2016 lagen die Wasserstände zwischen +54,03 m NHN und +54,39 m NHN, vgl. Abbildung 97.

Die Sulfatkonzentration (Stichtagsmessungen) im Lichtenauer See wird an der Messstelle 10.133 (LMBV) registriert. Die aktuellen Sulfatkonzentrationen vom Kalenderjahr 2015/2016 (vgl. Abbildung 97) zeigen im Mittel einen Wert von 1880 mg/L, wobei der höchste Wert mit 1980 mg/L im November 2015 gemessen wurde. Dies entspricht auch etwa dem Wert (2000 mg/L), der in [(IWB, 2016)] für den Ist-Zustand (Ende 2015) angegeben wurde.

Da die Überleitung aus dem RL 14/15 bereits seit Mai 2013 erfolgt, ist der Einfluss auf die Sulfatkonzentration im RL F in den genannten Höchstwerten von 2015 bereits enthalten. Die aktuellen Sulfatkonzentrationen vom Kalenderjahr 2015/2016 im RL 14/15 (vgl. Abbildung 100) zeigen im Mittel einen Wert von 2040 mg/L, wobei der höchste Wert mit 2120 mg/L im Juni 2016 gemessen wurde. Die Sulfatkonzentrationen im RL 14/15 liegen damit im Mittel nur etwas höher als die im RL F. Aus den Messwerten (2015/2016) ist damit keine relevante Änderung der Sulfatkonzentration im RL F erkennbar, die sich aus der Überleitung vom RL 14/15 ergibt.

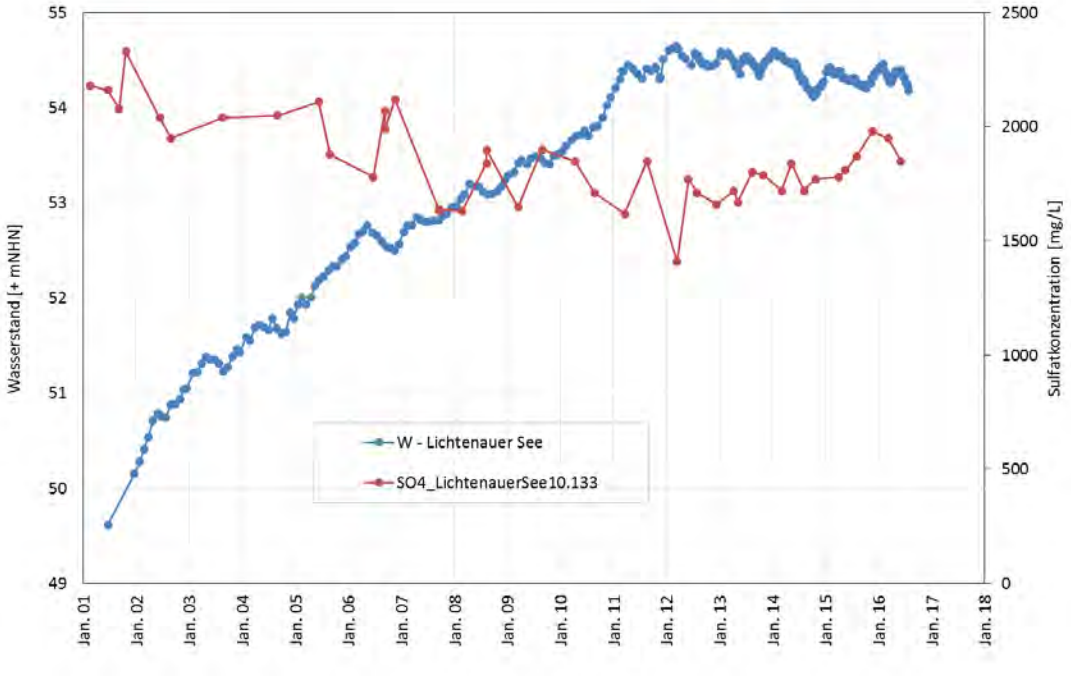


Abbildung 97: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte,10.133) und Wasserstand (Tageswerte) – Lichtenauer See

Für die modelltechnische Umsetzung werden die in Tabelle 42 zusammengestellten Sulfatkonzentrationen für die einzelnen Zeit- bzw. Prognosehorizonte verwendet.

Tabelle 42: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Lichtenauer See

See	Ist	Prognose	Prognose	Quelle
	2015	2026	2100	
Lichtenauer See	2000	2000	1200	(IWB, 2016)

Ausleitungen in den Beuchower Westgraben und den Lichtenauer Graben

Lange Reihen der Sulfatkonzentration (Stichtagsmessungen) liegen im Beuchower Westgraben für die Messstelle 10.005 (ca. 1,7 km unterhalb der Ausleitung aus dem RL F) und im Lichtenauer Graben für die Messstelle 10.114 vor. In Abbildung 98 sind die Sulfatkonzentrationen für diese Messstellen dargestellt. Die Sulfatkonzentration im Lichtenauer See (10.133) kann als repräsentativ für die Sulfatkonzentrationen in den Ausleitungen angesehen werden.

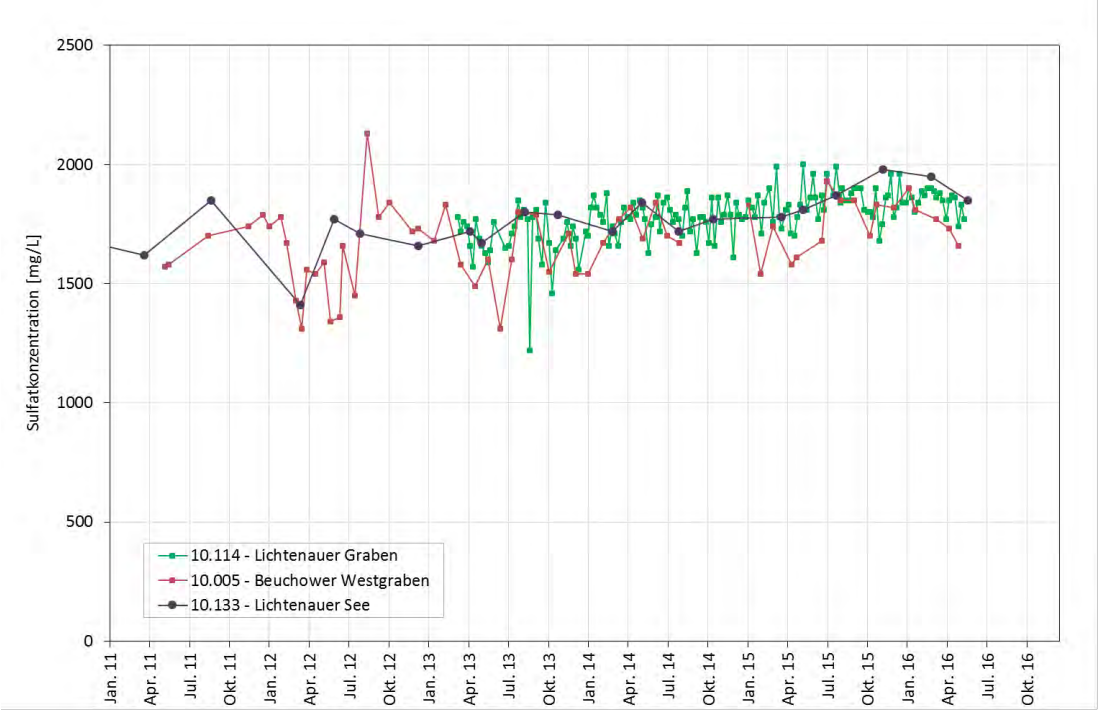


Abbildung 98: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Lichtenauer See (10.133) und Messstelle 10.005 / Beuchower Westgraben und Messstelle 10.114 / Lichtenauer Graben

Die Ausleitungen aus dem Lichtenauer See liegen im Mittel (Tageswerte 01.01.2015 – 30.06.2016, LMBV 01.08.2016) in den Beuchower Westgraben bei 0,047 m^3/s und in den Lichtenauer Graben bei 0,192 m^3/s.

Die Ausleitungen sind in Abbildung 99 dargestellt. Seit etwa Mitte 2013 überwiegt die Ausleitung in den Lichtenauer Graben. Im Kalenderjahr 2015 wurden ca. 20 % in den Beuchower Westgraben und ca. 80 % in den Lichtenauer Graben ausgeleitet.

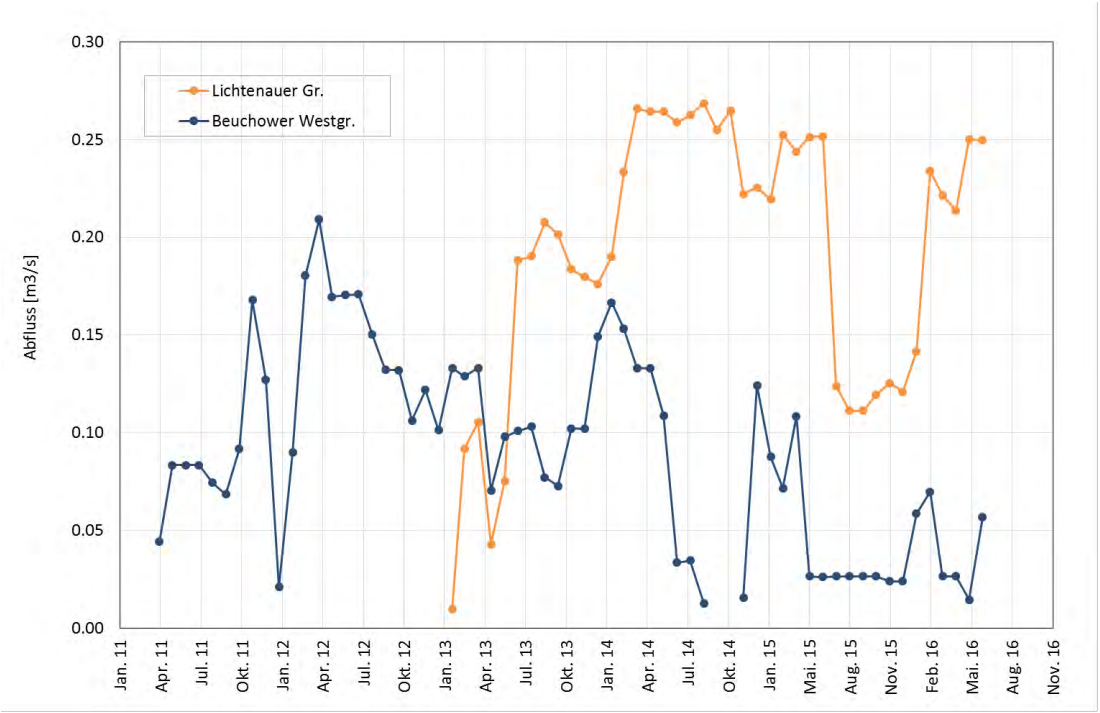


Abbildung 99: Ausleitungen vom Lichtenauer See in den Beuchower Westgraben und Lichtenauer Graben (abgeleitete Monatsmittelwerte aus Monatsmengen des LMBV 01.08.2016)

Teil-SE Ausleitung aus dem Lichtenauer See (RL F) in den Beuchower Westgraben

Die Ausleitung aus dem Lichtenauer See in den Beuchower Westgraben geht als Sulfatfracht in das Modell ein.

Die Abflussaufteilung aus dem Lichtenauer See (RL F) in den Beuchower Westgraben und in den Lichtenauer Graben ist im Modell variabel eingebbar. Gegenwärtig ist für die Ausleitung in den Beuchower Westgraben ein Wert von 0,2 (20 %) angesetzt, der sich aus der praktizierten Abflussaufteilung im Kalenderjahr 2015 ergibt.

FR = c * 0,20 * Q

wobei

FR – Sulfatfracht am EQ Ausleitung in den Beuchower Westgraben in g/s

c – Sulfatkonzentration im Lichtenauer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 42

Q – Abfluss am BP Lichtenauer See (Bilanzüberschuss) in m^3/s.

Ausleitung RL F in den Lichtenauer Graben

Die Ausleitung aus dem Lichtenauer See in den Lichtenauer Graben geht als Sulfatfracht in das Modell ein.

Die Abflussaufteilung aus dem Lichtenauer See (RL F) in den Beuchower Westgraben und in den Lichtenauer Graben ist im Modell variabel eingebbar. Gegenwärtig ist für die Ausleitung in den Lichtenauer Graben ein Wert von 0,8 (80 %) angesetzt, der sich aus der praktizierten Abflussaufteilung im Kalenderjahr 2015 ergibt.

FR = c * 0,80 * Q

wobei

FR – Sulfatfracht am EQ Ausleitung in den Lichtenauer Graben in g/s

c – Sulfatkonzentration im Lichtenauer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 42

Q – Abfluss am BP Lichtenauer See (Bilanzüberschuss) in m^3/s.

SE (gesamt) am EQ Auslauf Lichtenauer See
Die Sulfatfracht am EQ Auslauf Lichtenauer See ergibt sich aus der Sulfatfracht der Ausleitung in den Beuchower Westgraben.

2.2.3.6 Wudritz

Emissionsquerschnitt EQ
In WBalMo ist das Einzugsgebiet der Wudritz als Simulationsteilgebiet STG 15 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Bilanzpunkt (218) Pegel Ragow 2 verwendet.

Sulfatquellen
Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Ausleitungen aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Ottergraben und Lorenzgraben
- Ausleitung aus dem Stoßdorfer See (RL C)
- Ausleitung aus dem Hindenberger See (RL A)
- diffuse Sulfatquellen (u. a. Schweißgräben, Dränagegräben, infiltriertes Wasser an Nordböschung von RL 14/15 in Lorenzgraben.

Die Niederung Lorenzgraben, der Stöbritzer See (RL B) und der Stiebsdorfer See (RL 13) haben keine Vorflutanbindung und sind daher im Modell nicht als Punktquellen für die Sulfatfracht enthalten.

Sulfat-Eintragsmodul SE
In Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Teil-SE Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lorenzgraben
Im Modell wird die Ausleitungsmenge in den Lorenzgraben zusammen mit der Ausleitungsmenge in den Ottergraben (Wudritz) und der Überleitungsmenge zum RL F als Bilanzüberschuss des Schlabendorfer Sees berechnet. Die Berechnung des Bilanzüberschusses des Schlabendorfer Sees im Modell ist in Kapitel 2.4 erläutert.

Der Zielwasserstand (geotechnischen Grenzwasserstand) von +60,30 m NHN wurde im Juli 2012 erreicht und in den folgenden Monaten überschritten, vgl. Abbildung 100. Ausleitungen in den Lorenzgraben erfolgen im freien Ablauf. In Abbildung 101 sind die von der LMBV (LMBV, 2016) bereitgestellten Ausleitungsmengen aus dem Schlabendorfer See für die Jahre 2013 – 2015 dargestellt.

Die Sulfatkonzentration im Schlabendorfer See lag im Juni 2016 bei 2120 mg/L. In IWB (IWB, 2016) werden für den Istzustand (2015) Werte von 2000 mg/L, für den Prognosehorizont 2026 von 2400 mg/L und für den Prognosehorizont 2100 von 1500 mg/L angegeben, vgl. Tabelle 43. Aufgrund aktueller Messwerte werden im Modell für

den Istzustand Werte von 2100 mg/L verwendet. Die Werte der Prognosehorizonte bleiben wie in IWB (IWB, 2016) angegeben.

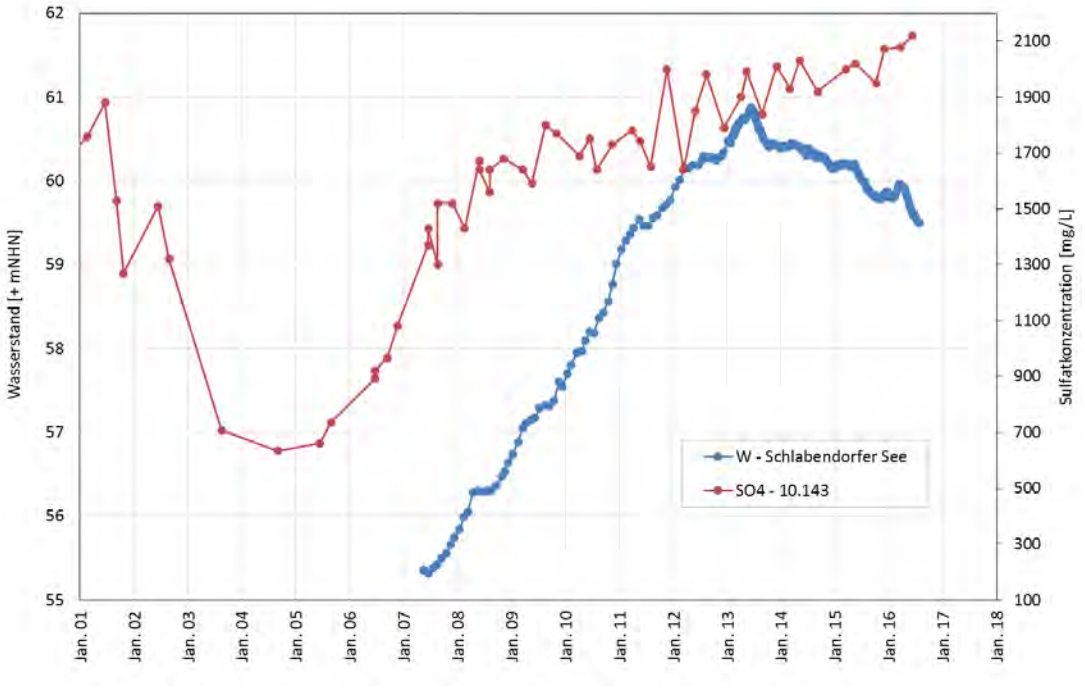


Abbildung 100: Sulfatkonzentration (Stichtagswerte, 10.143) und Wasserstand (wöchentlich) – Schlabendorfer See

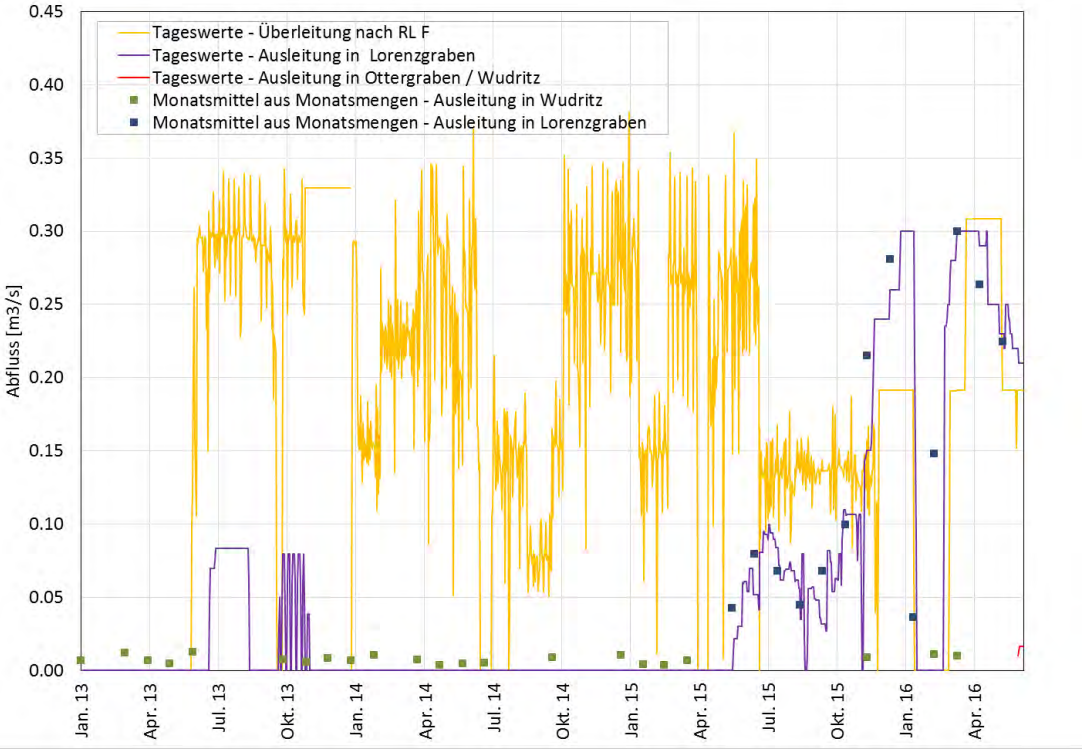


Abbildung 101: Ausleitungsmengen aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) (LMBV, 2015)

Tabelle 43: Sulfatkonzentrationen [mg/L] im Jahr 2015 und Prognose-Werte – Seen im EZG Wudritz

See	Ist	Prognose	Prognose	Quelle
	2015	2026	2100	
Schlabendorfer See	2100	2400	1500	Prognose: (IWB, 2016)], Ist: DHI WASY

Die Sulfatfracht der Ausleitung in den Lorenzgraben wird im Modell bilanziert mit:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in den Lorenzgraben in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 43

Q – Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in den Lorenzgraben in m^3/s.

Teil-SE Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Ottergraben (Wudritz)
Im Modell wird die Ausleitungsmenge in den Ottergraben zusammen mit der Ausleitungsmenge in den Lorenzgraben und der Überleitungsmenge zum RL F als Bilanzüberschuss des Schlabendorfer Sees berechnet. Die Berechnung des Bilanzüberschusses des Schlabendorfer Sees im Modell ist in Kapitel 2.4 erläutert.

Die Sulfatfracht der Ausleitung in den Ottergraben (Wudritz) wird im Modell bilanziert mit:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in den Ottergraben in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 43

Q – Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in den Ottergraben in m^3/s.

Teil-SE Überleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lichtenauer See
Im Modell wird die Überleitungsmenge zusammen mit den Ausleitungsmengen in den Lorenzgraben und Ottergraben (Wudritz) als Bilanzüberschuss des Schlabendorfer Sees berechnet, vgl. Kapitel 2.4. Die Überleitung erfolgt über eine Rohrleitung, deren Kapazität in IWB (IWB, 2015a) mit 18 m^3/min angegeben ist.

Die Sulfatfracht der Überleitung in den Lichtenauer See (RL F) wird im Modell bilanziert mit:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der Überleitung aus dem Schlabendorfer See in g/s

c – Sulfatkonzentration der Ausleitung aus dem Schlabendorfer See in mg/L
Werte sind zeitabhängig, siehe Tabelle 43

Q – Überleitung aus dem Schlabendorfer See in m^3/s.

Teil-SE Diffuse Sulfatquellen sowie Stoßdorfer See (RL C) und Hindenberger See (RL A)
Über die Fließgewässer im Einzugsgebiet erfolgt ein diffuser Sulfateintrag. Der Sulfateintrag für das Teileinzugsgebiet des Schlabendorfer Sees (RL 14/15) ist bereits in den drei Teil-SE Ausleitungen aus dem Schlabendorfer See erfasst, so dass beim Teil-SE Diffuse Sulfatquellen nur das verbleibende Teileinzugsgebiet einschließlich des Stoßdorfer Sees und des Hindenberger Sees abflusswirksam wird.

Wie die Berechnungsergebnisse (vgl. SE (gesamt) zeigen, wird mit der Sulfatkonzentration von 70 mg/L (IWB, 2015f) der diffuse Sulfateintrag aus dem Einzugsgebiet einschließlich der Einträge aus dem Stoßdorfer See (RL C) und dem Hindenberger See (RL A) gut wiedergegeben.

Der Sulfateintrag wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht der diffusen Sulfateinträge aus dem Teileinzugsgebiet in g/s

c – Sulfatkonzentration aus dem Teileinzugsgebiet in mg/L
c = 70 mg/L (IWB, 2015f)

Q – Abfluss (Dargebot) aus dem Teileinzugsgebiet in m^3/s.

SE (gesamt) am EQ Pegel Ragow 2
Der Sulfateintrag am EQ Pegel Ragow 2 wird über die Summe der Sulfatfrachten aus folgenden Teil-SE im EZG der Wudritz bilanziert:

- Teil-SE Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lorenzgraben
- Teil-SE Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Ottergraben (Wudritz)
- Teil-SE diffuse Sulfatquellen sowie Stoßdorfer See (RL C) und Hindenberger See (RL A).

In Abbildung 102 sind die gemessenen und die simulierten Sulfatfrachten und in Abbildung 103 die Sulfatkonzentrationen am Pegel Ragow 2 mit der ab Juni 2015 praktizierten Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) gegenübergestellt. Da die Abflusswerte für den Pegel Ragow 2 (LfU) nur bis zum 31.10.2015 vorlagen, wurde für den Vergleich noch die Messstelle WU10 (LMBV) mit Werten bis 31.12.2015 herangezogen, die in unmittelbarer Nachbarschaft zum Pegel Ragow 2 liegt.

Die simulierten Werte zeigen eine gute Anpassung an die gemessenen Werte, vgl. Tabelle 44. Mit dem Vorliegen weiterer Messwerte (Tageswerte) von Abfluss und Sulfatkonzentration am Pegel Ragow 2 (OTGR_0030) und Ausleitungsmengen (gemessene Tageswerte) in den Lorenzgraben und in die Wudritz (Ottergraben) wird die Verifizierung der abgeleiteten Frachtbilanz empfohlen.

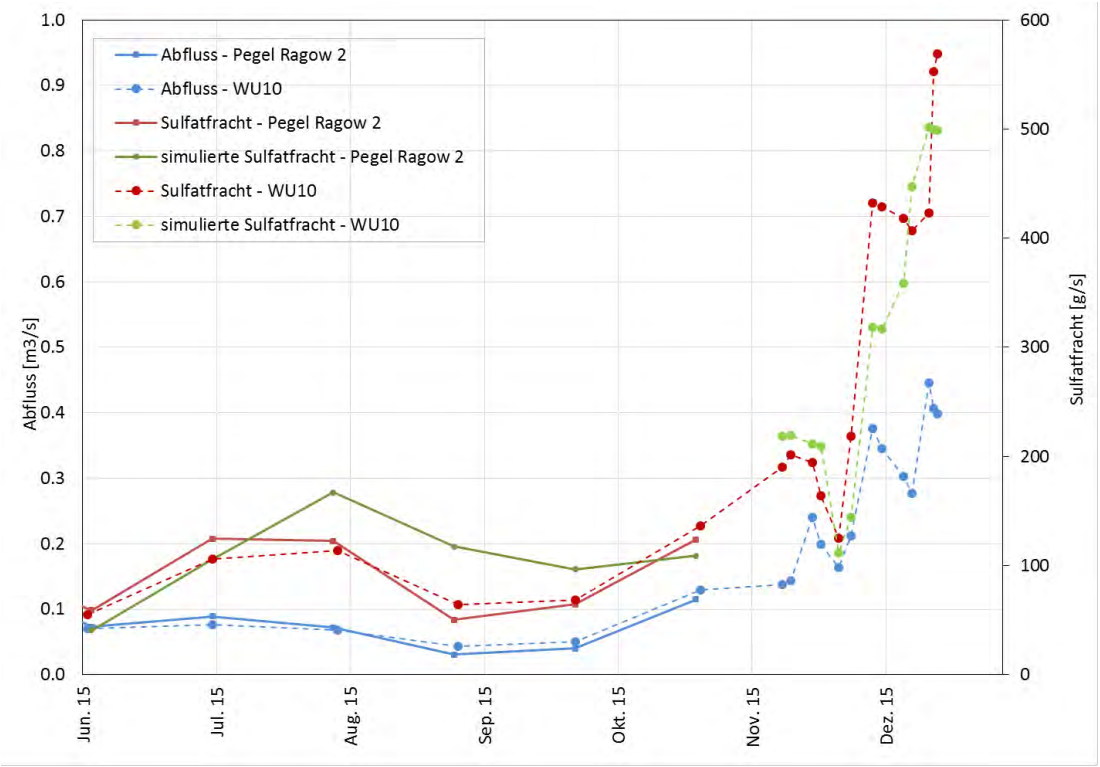


Abbildung 102: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht am EQ Pegel Ragow 2 und für die Messstelle WU10

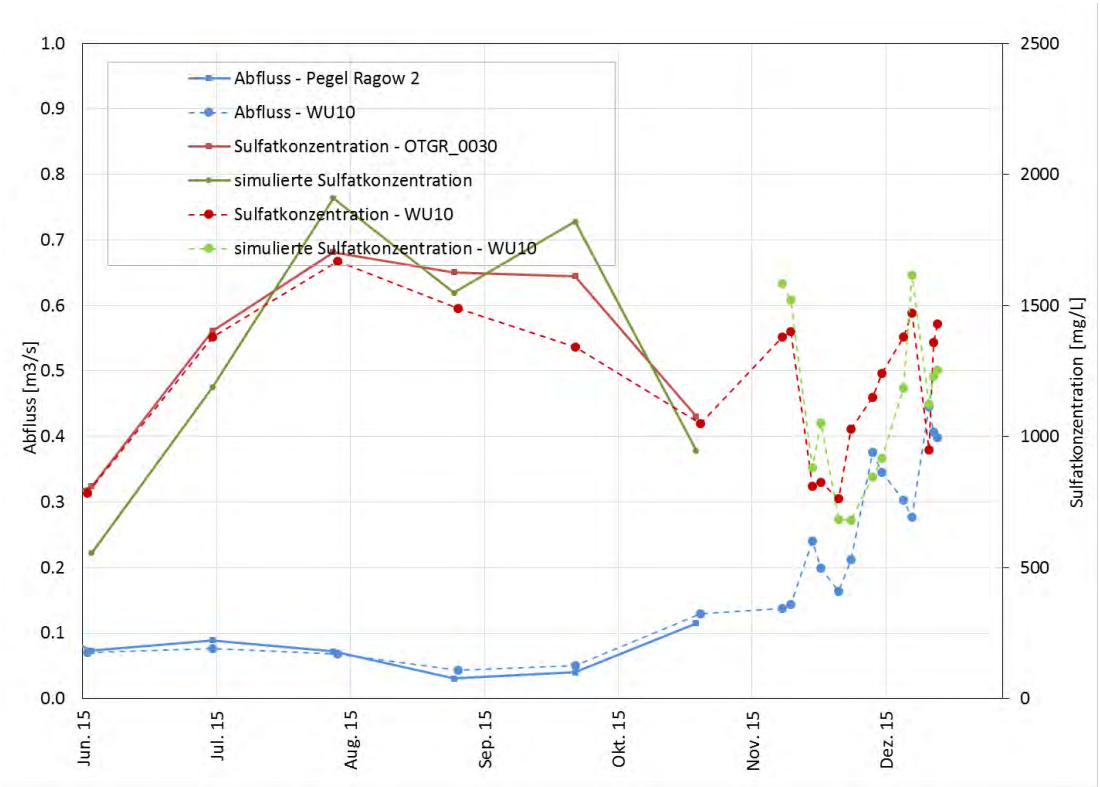


Abbildung 103: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration am EQ Pegel Ragow 2 und für die Messstelle WU10

Tabelle 44: Güte der Simulation – EQ Pegel Ragow 2 / Wudritz

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Juni – Dez. 2015	19	0,948	0,894	16,3
Sulfatkonzentration	Juni – Dez. 2015	19	0,858	0,536	16,3

Empfehlung für weitergehende Untersuchungen

Bei Vorliegen längerer Reihen von Abfluss und Sulfatkonzentration für annähernd gleiche Bewirtschaftungsverhältnisse (z. B. für das Jahr 2016) wird die Verifizierung der aufgestellten Beziehung zur Ermittlung der Sulfatkonzentration empfohlen.

2.2.3.7 Berste

Emissionsquerschnitt EQ

In WBalMo ist das Einzugsgebiet der Berste als Simulationsteilgebiet STG 16 enthalten. Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet wird der Bilanzpunkt (219) Pegel Treppendorf verwendet.

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Bornsdorfer Kohlegraben
- Niedermoore, insbesondere Bergen-Weißacker Moor und Niedermoor südl. Horstteich
- diffuse Sulfatquellen.

Sulfat-Eintragsmodul SE

In Abbildung 75 ist eine Übersicht der modelltechnischen Umsetzung des Sulfateintrags im linksseitigen Nordraum in WBalMo gegeben.

Bornsdorfer Kohlegraben

An der Messstelle SGL20 (Bornsdorfer Kohlegraben, kurz unterhalb Mündung in die Berste) liegen für den Zeitraum von Juni 2013 bis März 2016 (Stichtagsmessungen (monatlich) insgesamt 34 Messpaare für den Abfluss und die Sulfatkonzentration vor. Die Stichtagsmessungen sind in Abbildung 104 dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, zeigen Abfluss und Sulfatkonzentration ein etwa gleiches Verhalten (hohe Abflüsse, dann auch hohe Sulfatkonzentrationen bzw. umgekehrt).

Anhand der 34 Wertepaare (Juni 2013 bis März 2016) konnte folgende Beziehung zur Berechnung der Sulfatkonzentration an der Messstelle SGL20 ermittelt werden (vgl. Abbildung 106):

$$c = 29{,}125 \ln(Q) + 194{,}03$$

wobei

c – Sulfatkonzentration an der Messstelle SGL20 in mg/L

Q – Abfluss an der Messstelle SGL20 in m^3/s.

Das Bestimmtheitsmaß für die o. g. Beziehung beträgt 0,41.

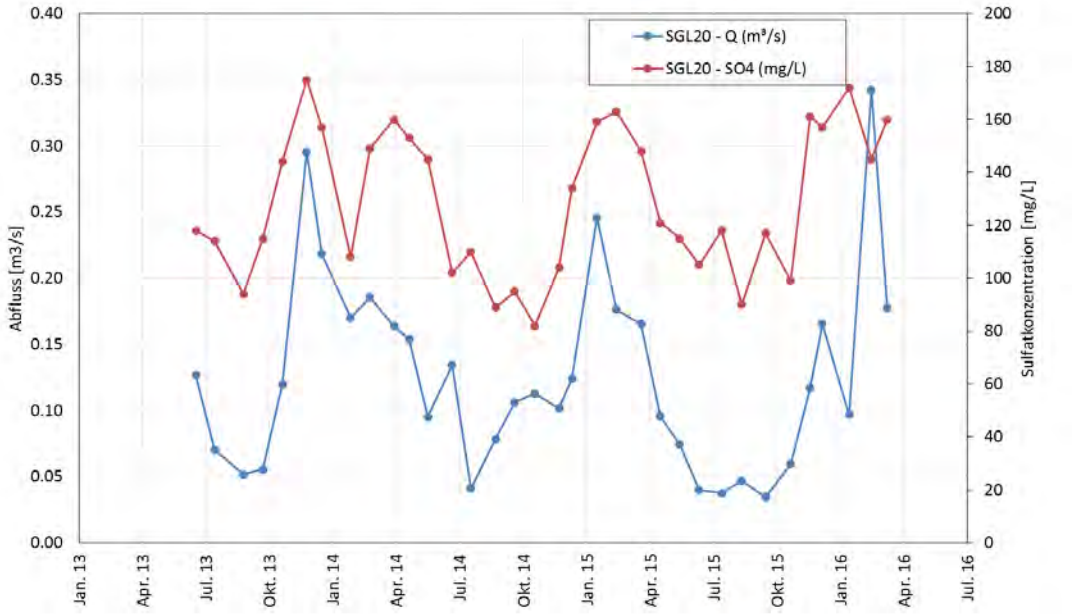


Abbildung 104: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle SGL20 / Bornsdorfer Kohlegraben

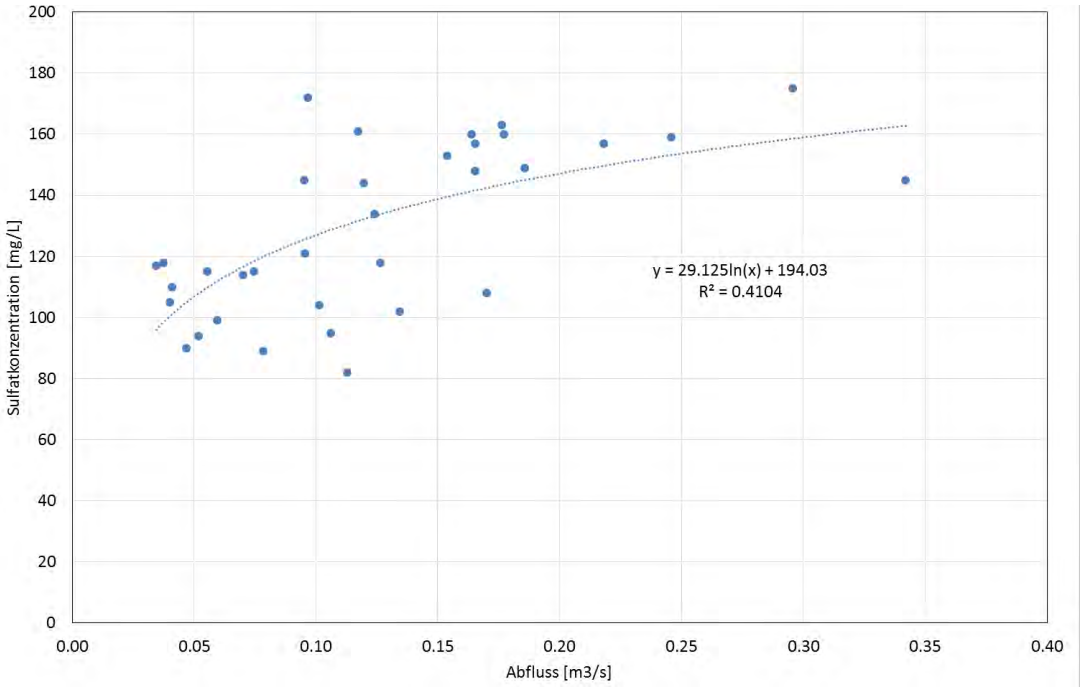


Abbildung 105: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle SGL20 / Bornsdorfer Kohlegraben

Weißacker Moor

An der Messstelle B80 (Berste, Abfluss aus Weißacker Moor) liegen für den Zeitraum von März 2012 bis Juni 2016 (Stichtagsmessungen (monatlich) insgesamt 49 Messpaare für den Abfluss und die Sulfatkonzentration vor. Die Stichtagsmessungen sind in Abbildung 106 dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, wird der Abfluss im betrachteten Zeitraum tendenziell geringer. Die Sulfatkonzentration weist im Mittel 508 mg/L auf, wobei die Konzentration im Jahr 2015 deutlich über dem Mittel liegt (Mittel 2015 gleich

645 mg/L). Es wird daher von unterschiedlichen Quellen für die Sulfatkonzentration im Jahr 2015 ausgegangen.

Anhand der 32 Wertepaare von März 2012 bis Dezember 2014 konnte folgende Beziehung zur Berechnung der Sulfatkonzentration an der Messstelle B80 ermittelt werden (vgl. Abbildung 107):

$c = -18{,}11 \ln(Q) + 383{,}47$

wobei

c – Sulfatkonzentration an der Messstelle B80 in mg/L

Q – Abfluss an der Messstelle B80 in m^3/s.

Das Bestimmtheitsmaß für die o. g. Beziehung beträgt 0,085.

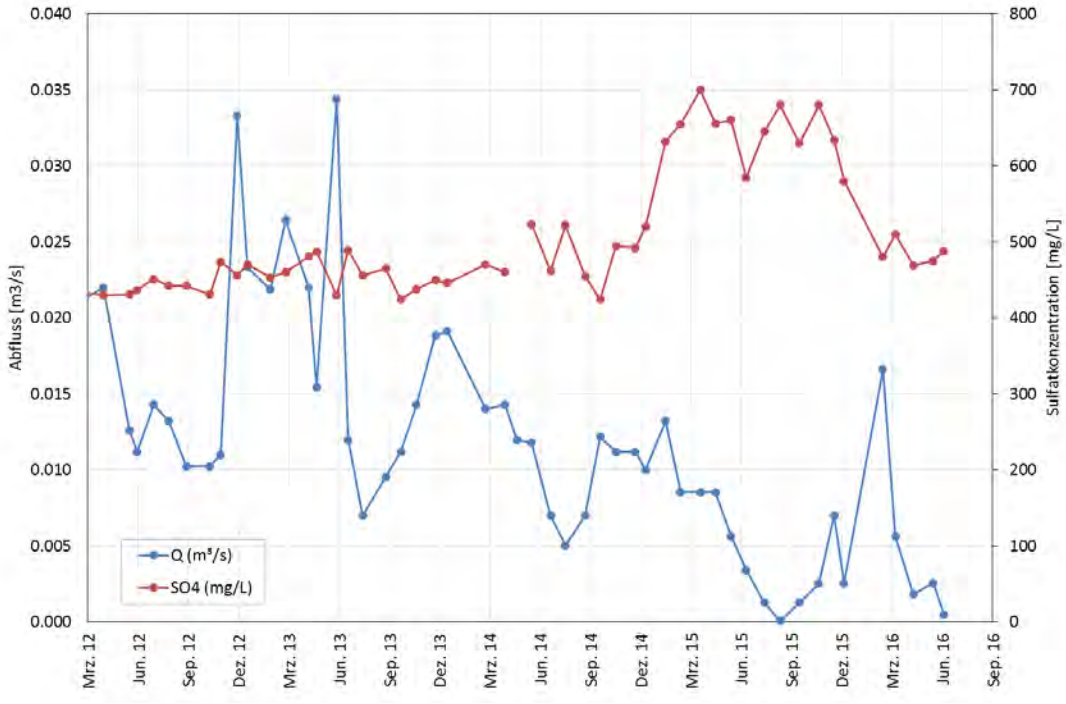


Abbildung 106: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B80 / Berste (Weißacker Moor)

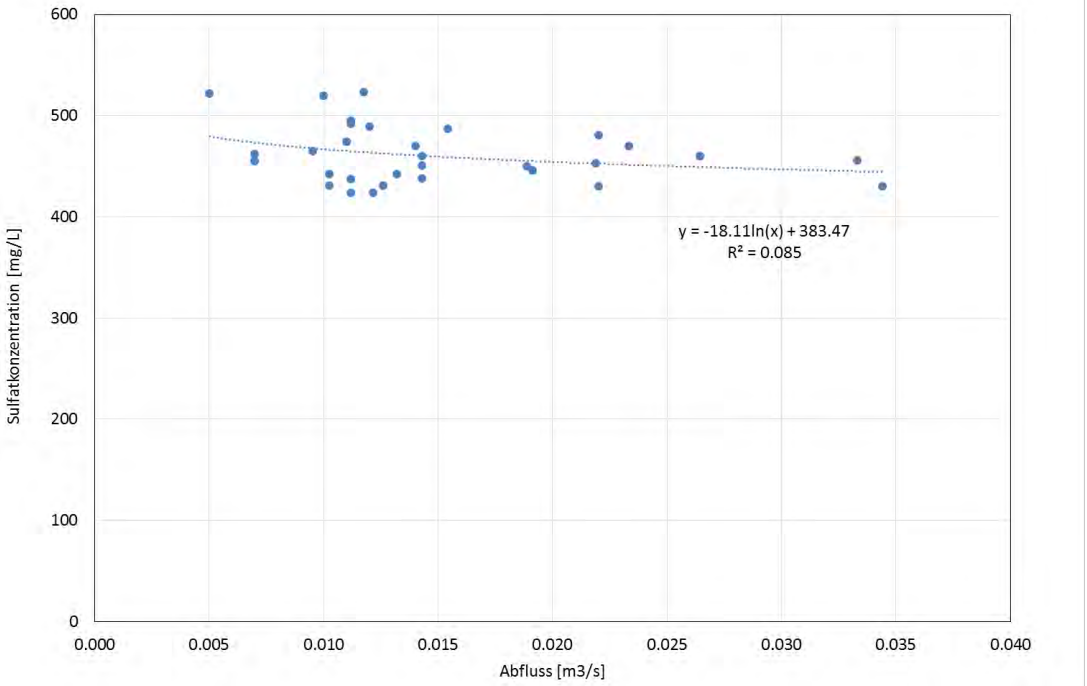


Abbildung 107: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B80 / Berste (Weißacker Moor)

Niedermoor südl. Horstteich

An der Messstelle B71 (Berste, Abfluss aus Niedermoor südl. Horstteich) liegen für den Zeitraum von März 2012 bis Juni 2016 (Stichtagsmessungen (monatlich) insgesamt 52 Messpaare für den Abfluss und die Sulfatkonzentration vor. Die Stichtagsmessungen sind in Abbildung 108 dargestellt. Wie aus der Abbildung hervorgeht, wurde im Mai 2012 eine Sulfatkonzentration von 522 mg/L gemessen. Dieser Wert weicht deutlich von den anderen Sulfatkonzentrationen ab. Hier wird von einem Ausreißer in der Messwertreihe ausgegangen.

Die Sulfatkonzentration weist im Mittel 778 mg/L (ohne Mai 2012) auf.

Anhand der 51 Wertepaare konnte folgende Beziehung zur Berechnung der Sulfatkonzentration an der Messstelle B71 ermittelt werden (vgl. Abbildung 109):

$c = -2419{,}8 * Q + 806{,}39$

wobei

c – Sulfatkonzentration an der Messstelle B71 in mg/L

Q – Abfluss an der Messstelle B71 in m^3/s.

Das Bestimmtheitsmaß für die o. g. Beziehung beträgt 0,062.

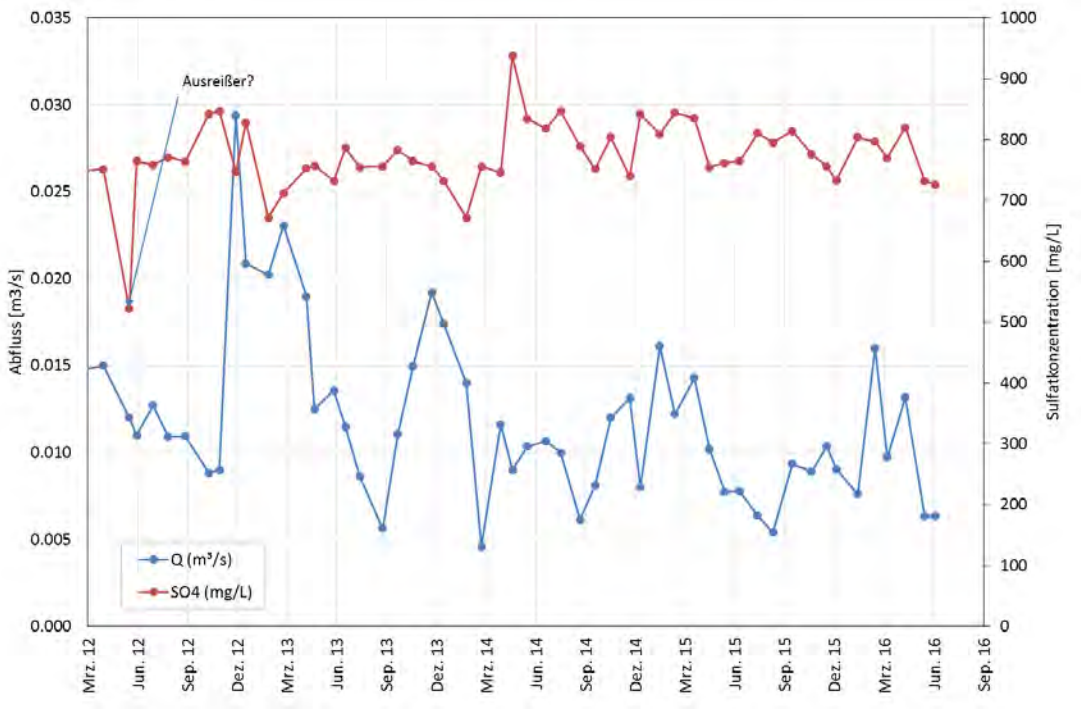


Abbildung 108: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B71 / Berste (Niedermoor südl. Horstteich)

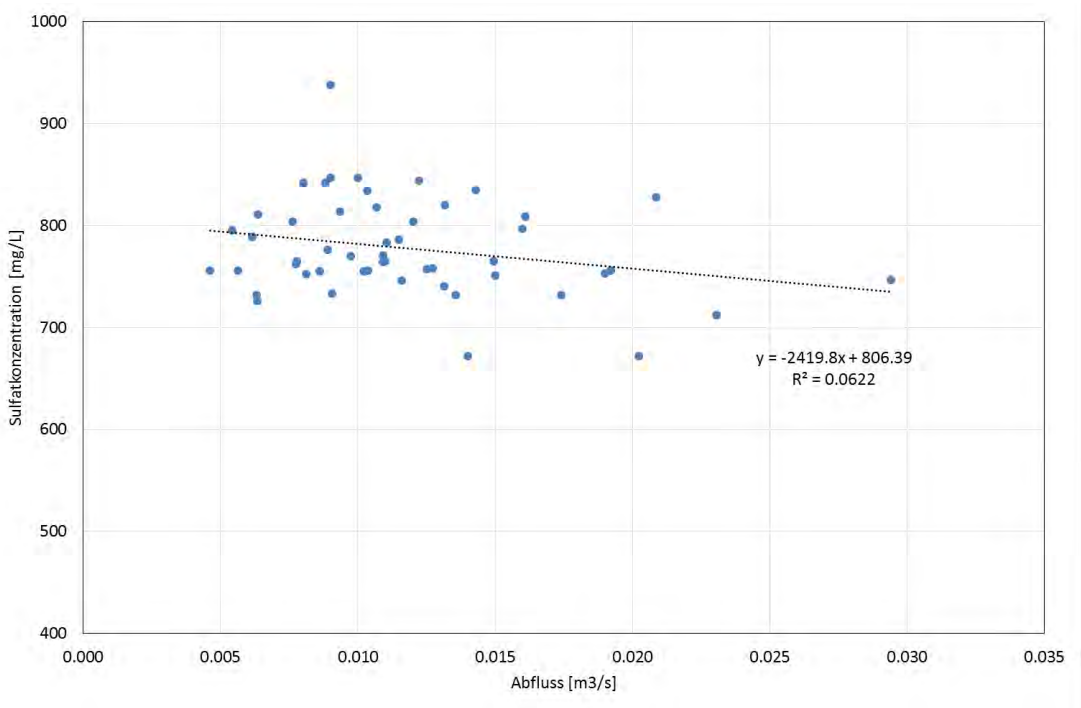


Abbildung 109: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle B71 / Berste (Niedermoor südl. Horstteich)

SE am EQ Pegel Treppendorf /Berste

Vom LfU Brandenburg liegen Stichtagsmessungen der Sulfatkonzentration an der Messstelle BE_0050 (Berste, bei Treppendorf) und Tageswerte des Abflusses für den

Pegel Treppendorf (58 443.0) vor. Die Messreihe der Sulfatkonzentrationen reicht von Januar 2013 bis Mai 2016 und die Tageswerte des Abflusses vom 01.11.2002 bis zum 31.10.2015.

In Abbildung 110 sind die Stichtagsmessungen der Sulfatkonzentration und die Abflüsse für den gleichen Stichtag dargestellt. Deutlich wird der tendenzielle Rückgang der Sulfatkonzentration ab 2012. Abbildung 112 zeigt die Beziehungen zwischen der gemessenen Sulfatkonzentration (BE_0050) und dem gemessenen Abfluss (Pegel Treppendorf) zum einen für den Zeitraum Jan. 2003 – Juli 2012 und Aug. 2012 bis Okt. 2015. Für den Zeitraum Aug. 2012 bis Okt. 2015 ergibt sich mit 0,73 ein deutlich höheres Bestimmtheitsmaß als bei Betrachtung der Reihe Jan. 2003 – Juli 2012 (Bestimmtheitsmaß = 0,52).

Für die Ableitung der Beziehung zur Berechnung der Sulfatkonzentration für den Istzustand wurden die Stichtagswerte August 2012 bis Oktober 2015, die den Istzustand abbilden, verwendet.

Anhand der 40 Wertepaare (August 2012 bis Oktober 2015) konnte folgende Beziehung zur Berechnung der Sulfatkonzentration für den EQ Treppendorf ermittelt werden (vgl. Abbildung 111, Bestimmtheitsmaß $R^2 = 0,73$):

$$c = 28,431 * \ln(Q) + 151,86$$

wobei

c – Sulfatkonzentration am BP Treppendorf (Messstelle BE_0050) in mg/L

Q – Abfluss am EQ Treppendorf (BP 219) in m^3/s.

In Abbildung 112 sind die mit der o.g. Funktion simulierte Sulfatkonzentration und die gemessene Sulfatkonzentration gegenübergestellt. Die Simulation zeigt eine sehr gute zeitliche und mengenmäßige Überstimmung (vgl. Tabelle 45). In dieser Simulation sind die Sulfateinträge aus den Niedermooren und dem Bornsdorfer Kohlegraben mitenthalten.

Wie die Analysen zeigten, wird mit einer Frachtbilanzierung am EQ Treppendorf bei dem die Niedermoore, der Bornsdorfer Kohlegraben und das verbleibende Rest-Einzugsgebiet mit diffusen Sulfatquellen einzeln bilanziert werden, keine bessere Simulation erzielt. Daher wird im Modell die Sulfatkonzentration am EQ Treppendorf mit der o.g. Formel berechnet.

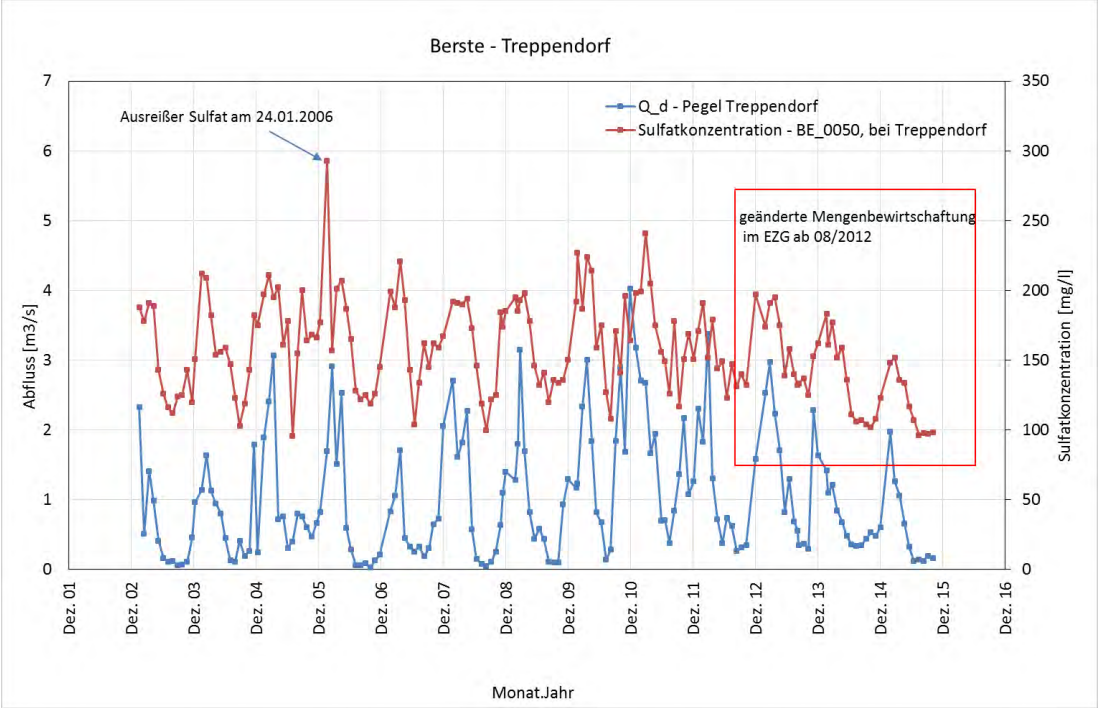


Abbildung 110: Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle BE_0050 (bei Treppendorf und Pegel Treppendorf (58 443.0) / Berste

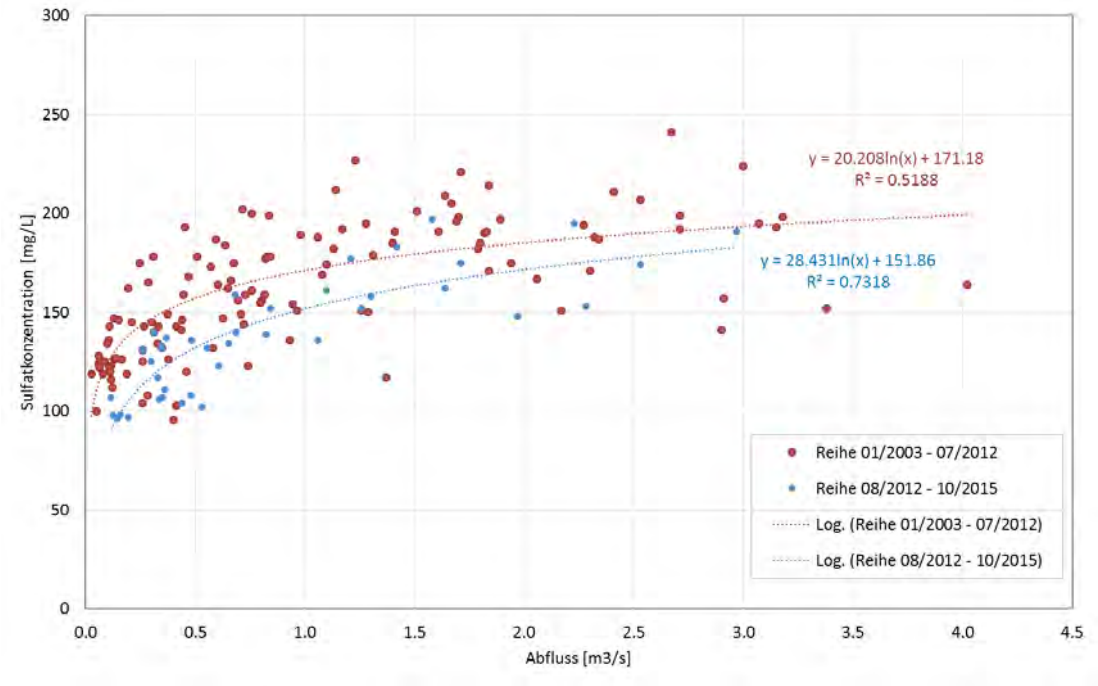


Abbildung 111: Beziehung zwischen Abfluss und Sulfatkonzentration (Stichtagswerte) – Messstelle BE_0050 (bei Treppendorf und Pegel Treppendorf (58 443.0) / Berste

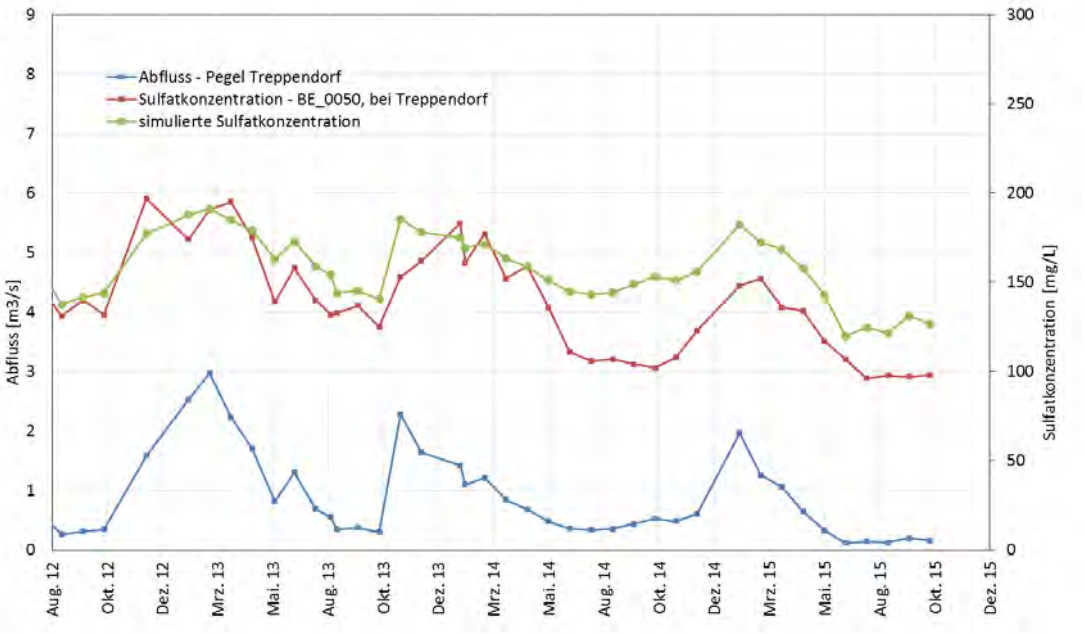


Abbildung 112: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatkonzentration – EQ Pegel Treppendorf / Berste

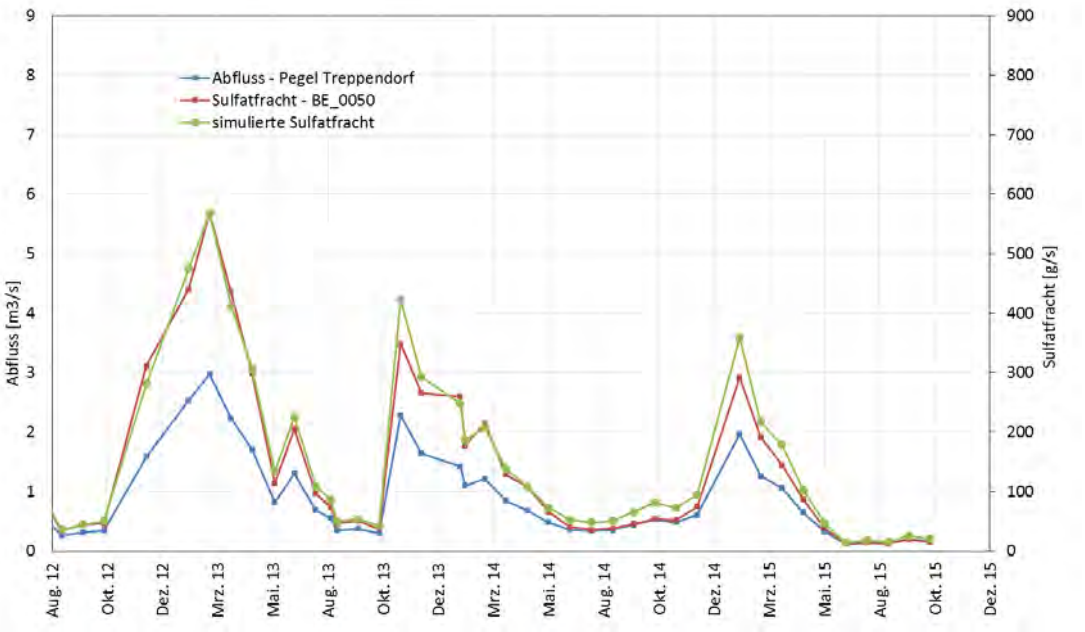


Abbildung 113: Vergleich gemessene und simulierte Sulfatfracht – EQ Pegel Treppendorf / Berste

Tabelle 45: Güte der Simulation – EQ Pegel Treppendorf / Berste

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Aug. 2012 bis Okt. 2015	40	0,991	0,974	16,9
Sulfatkonzentration	Aug. 2012 bis Okt. 2015	40	0,855	0,302	16,9

2.2.4 Sulfateintragsmodul Untere Spree

Grundsätzlich werden die Sulfatkonzentrationen in diesem Spreeabschnitt mit den Sulfattranslationsmodulen ermittelt (siehe Abschnitt 2.3). Für die Aussagequerschnitte WW Biesen und Rahnsdorf wurden die folgenden Sulfatquellen unterhalb der Sulfattranslationsquerschnitte untersucht.

Die folgende Abbildung 114 zeigt die zu berücksichtigen Sulfateinträge in der Unteren Spree: die Schleuse Kersdorf mit dem Eintrag aus dem Oder-Spree-Kanal und der Eintrag aus der Löcknitz vom Kalksee Rüdersdorf.

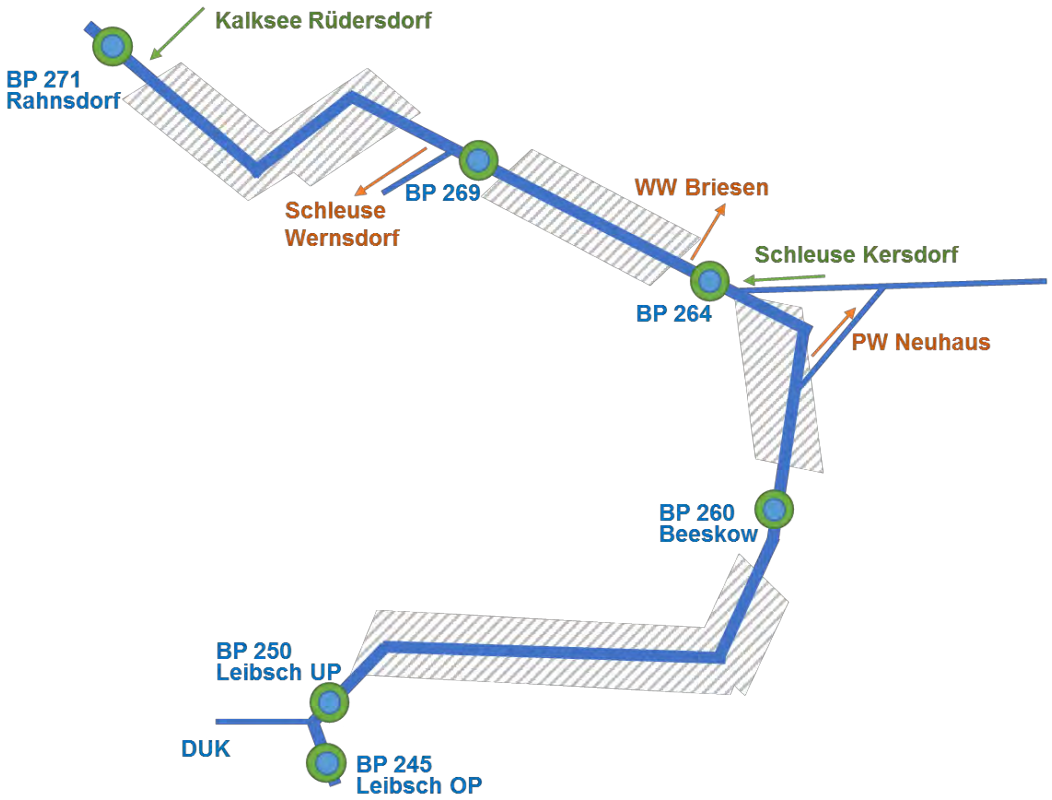


Abbildung 114: Übersicht über die Frachtbilanzierung in der Unteren Spree

2.2.4.1 Spreegebiet bis Große Tränke

Emissionsquerschnitt EQ

Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Oder-Spree-Kanal wird die Schleuse Kersdorf verwendet.

Sulfatquellen

Sulfat wird aus der Oder, dem Eigeneinzugsgebiet des Oder-Spree-Kanal und der Scheitelhaltung über das PW Neuhaus eingetragen. Der Oder-Spree-Kanal ist kein frei fließendes Gewässer und wäre als Stoffbilanzmodell aufzubauen, das zusätzlich den Umfang der Pumpmengen in Eisenhüttenstadt und den Volumenstrom des Eigeneinzugsgebiets umfassen müsste.

Sulfat-Eintragsmodul SE

Anstelle dieses Vorgehens wird die Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf basierend auf der Sulfatkonzentration am Pegel Beeskow ermittelt. Dieser Zusammenhang ergibt sich aus der Dominanz der aus der Spree über das PW Neuhaus übergeleiteten Fracht auf die Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf, wie die folgende Abbildung zeigt.

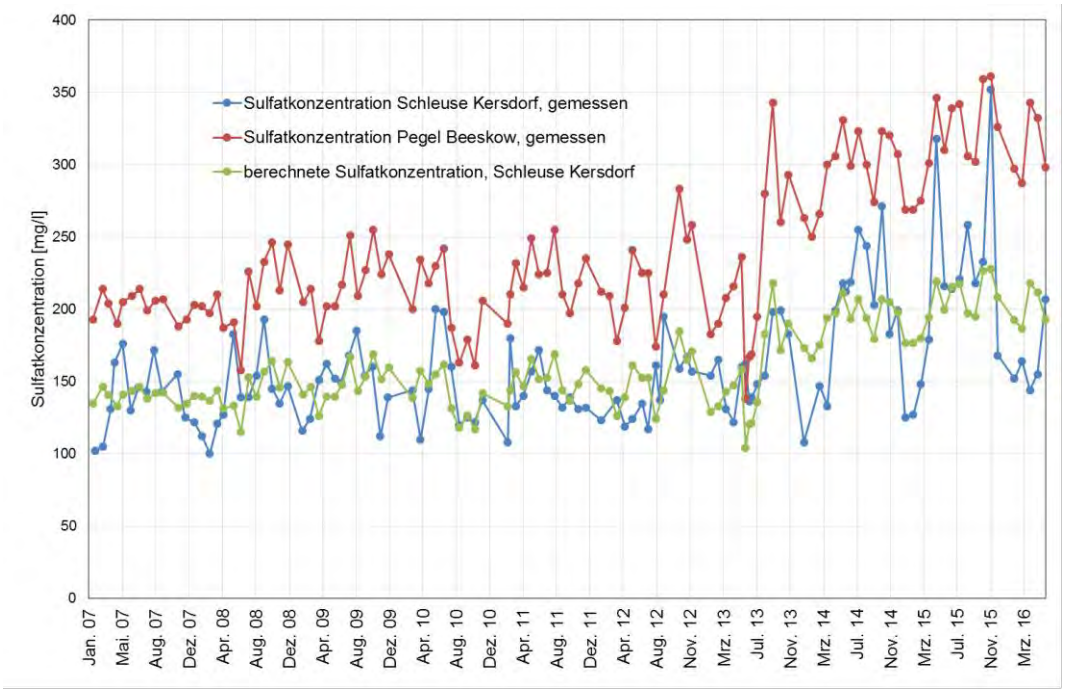


Abbildung 115: Ermittlung der Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf

Daher wurde eine lineare Beziehung zwischen den Sulfatkonzentrationen in Beeskow und an der Schleuse Kersdorf angenommen. Für die Regressionsgleichung ergaben sich folgende Koeffizienten:

c(Schleuse Kersdorf) = 0,55 * c(Beeskow) + 27,5 [mg/l]

Obwohl die Güte der Regression ab 2014 durch die stärkere Schwankung der Sulfatkonzentrationen in der Spree nachlässt, sollen dennoch beide Schwankungsregime einbezogen werden, da die zukünftige Entwicklung beides zulässt. Zu bedenken ist auch, dass in dem betrachteten Zeitraum der mittlere Anteil des Oder-Spree-Kanals am Durchfluss in Fürstenwalde 2 % beträgt, in Ausnahmefällen maximal 10 %.

Tabelle 46: Güte der Ermittlung der Sulfatkonzentration an der Schleuse Kersdorf

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatkonzentration	Jan. 2007 bis Mai 2016	115	0,67	15,2

2.2.4.2 Spreegebiet bis Rahnsdorf

Emissionsquerschnitt EQ

Als Emissionsquerschnitt EQ der Sulfatfracht aus dem Einzugsgebiet der Löcknitz (Flakenfließ) wird der Gewässerquerschnitt Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree) verwendet, vgl. Abbildung 116.

Abbildung 116: Übersicht Einzugsgebiet Löcknitz

Sulfatquellen

Aus bereits vorliegenden Studien und Berichten gehen die folgenden, wesentlichen Sulfatquellen hervor:

- Kalksee Rüdersdorf
- diffuse Sulfatquellen.

Sulfat-Eintragsmodul SE

Kalksee Rüdersdorf und diffuse Sulfatquellen im Teileinzugsgebiet Flakenfließ (Pegel Woltersdorf OP)

Messdaten der Sulfatkonzentration liegen für Messstelle RÜG_0010 (LfU) und für den Abfluss am Pegel Woltersdorf OP (WSA Berlin) vor, vgl. Abbildung 117.

Die Messstelle RÜG_0010 ist repräsentativ für den Sulfateintrag aus dem Kalksee Rüdersdorf einschließlich dem diffusen Anteil des Teileinzugsgebiets bis zum Gewässerquerschnitt der Messstelle RÜG_0010. Die Werte liegen im Mittel (2014/2015) bei 442 mg/L, wobei der Höchstwert von 516 mg/L im Oktober 2015 gemessen wurde.

Am Pegel Woltersdorf OP wird der Abfluss aus dem Flakenfließ beobachtet. Der Pegel liegt oberhalb des Einlaufs des Flakenfließes in den Flakensee. Der mittlere Abfluss (MQ) der langjährigen Reihe Jan. 2003 bis Dez. 2015 liegt bei 0,840 m^3/s. Das MQ der Reihe 2014/2015 (Kalenderjahre) liegt bei 0,759 m^3/s.

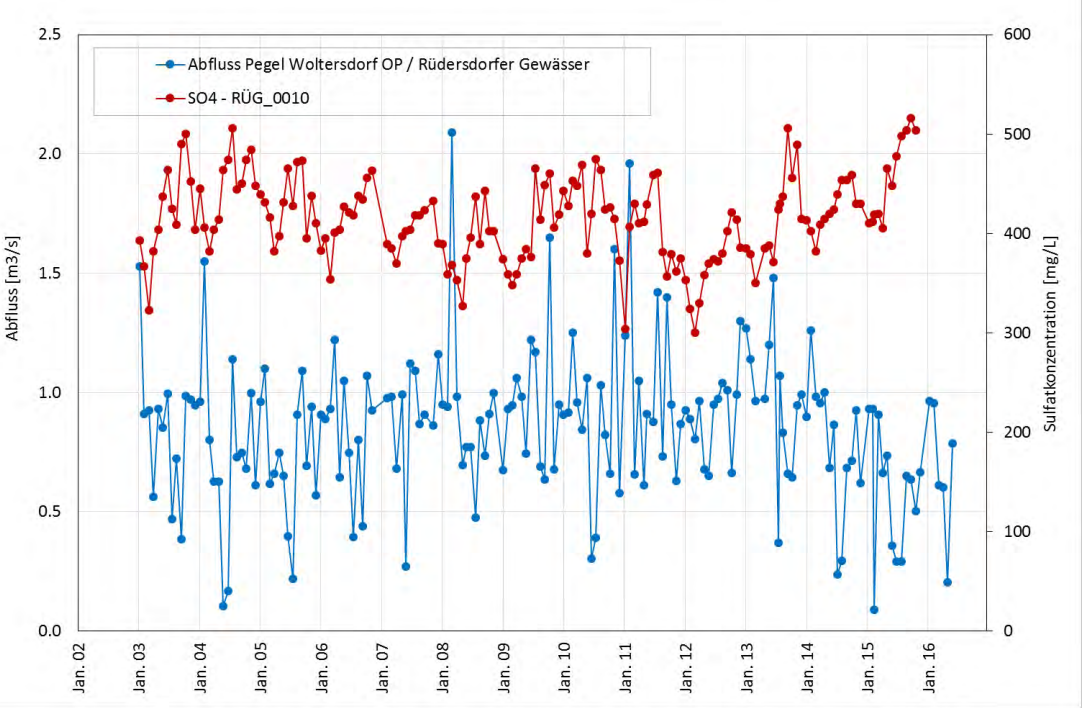


Abbildung 117: Sulfatkonzentration an der Messstelle RÜG_0010 und Abfluss am Pegel Woltersdorf OP

Diffuse Sulfatquellen im Teileinzugsgebiet Löcknitz (Pegel Grünheide 2)

Messdaten der Sulfatkonzentration liegen für die Messstelle LÖ_0010 (LfU) und für den Abfluss am Pegel Grünheide 2 (LfU) vor, vgl. Abbildung 118.

An der Messstelle LÖ_0010, Löcknitz vor der Einmündung in das Flakenfließ, wird der diffuse Sulfateintrag der Löcknitz erfasst. Die Werte liegen im Mittel (2014/2015) bei 90 mg/L.

Am Pegel Grünheide 2 wird der Abfluss aus dem Teileinzugsgebiet der Löcknitz oberhalb der Mündung in den Flakensee beobachtet. Der mittlere Abfluss (MQ) der langjährigen Reihe Jan. 2003 bis Dez. 2015 liegt bei 0,661 m^3/s. Das MQ der Reihe 2014/2015 (Kalenderjahre) liegt bei 0,573 m^3/s.

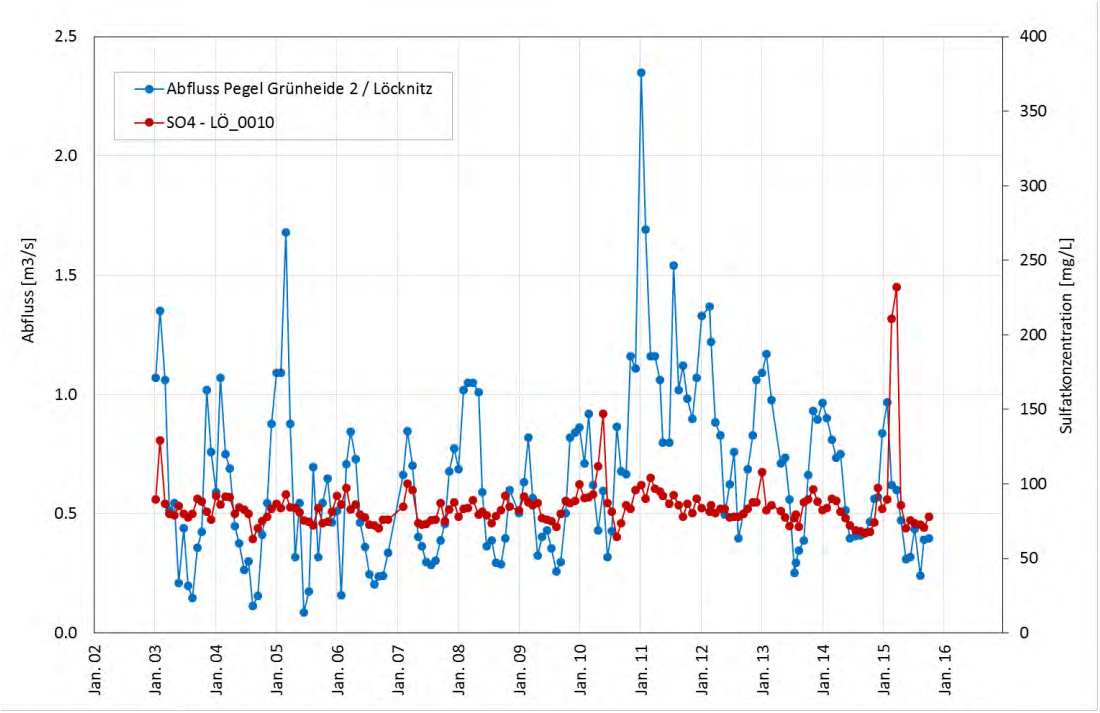


Abbildung 118: Sulfatkonzentration an der Messstelle LÖ_0010 und Abfluss am Pegel Grünheide 2

SE (gesamt) am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree)

Der Gesamtabfluss des Einzugsgebietes der Löcknitz kann (näherungsweise) als Summe der Abflüsse am Pegel Woltersdorf OP / Flakenfließ und Pegel Grünheide 2 / Löcknitz gebildet werden. Am Pegel Woltersdorf OP werden im langjährigen Mittel (ca. 1.50 m^3/s, Reihe Jan. 2003 – Dez. 2015) ca. 56 % vom Gesamtabfluss und am Pegel Grünheide 2 ca. 44 % vom Gesamtabfluss abflusswirksam. D. h. der Abfluss aus der Löcknitz (oberhalb Pegel Grünheide 2) mit einer Sulfatkonzentration von 90 mg/L führt zu einer starken Reduzierung der Sulfatkonzentration nach dem Zusammenfluss mit dem Flakenfließ, vgl. Abbildung 119.

An der Messstelle FLAFL_0010 wird die Sulfatkonzentration am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee beobachtet. Die Messwerte an der Messstelle FLAFL_0010 zeigen Werte zwischen ca. 91 mg/L und 305 mg/L Jan. 2003 – Dez. 2015). Der Mittelwert liegt bei 210 mg/L. Im November 2015 wurde der bisher höchste Wert von 305 mg/L gemessen.

Der Gesamtabfluss der Löcknitz und die gemessene Sulfatkonzentration an der Messstelle FLAFL_0010 sind in Abbildung 120 für synchrone Stichtage als Ganglinie dargestellt. Aus Abbildung 126, in der der Gesamtabfluss der Löcknitz und die gemessene Sulfatkonzentration an der Messstelle FLAFL_0010 in Beziehung gesetzt sind, geht hervor, dass keine enge Beziehung zwischen beiden Größen ableitbar ist. Das Bestimmtheitsmaß R^2 ist für verschiedene betrachtete Zeitreihen mit 0,09 bzw. 0,20 sehr gering.

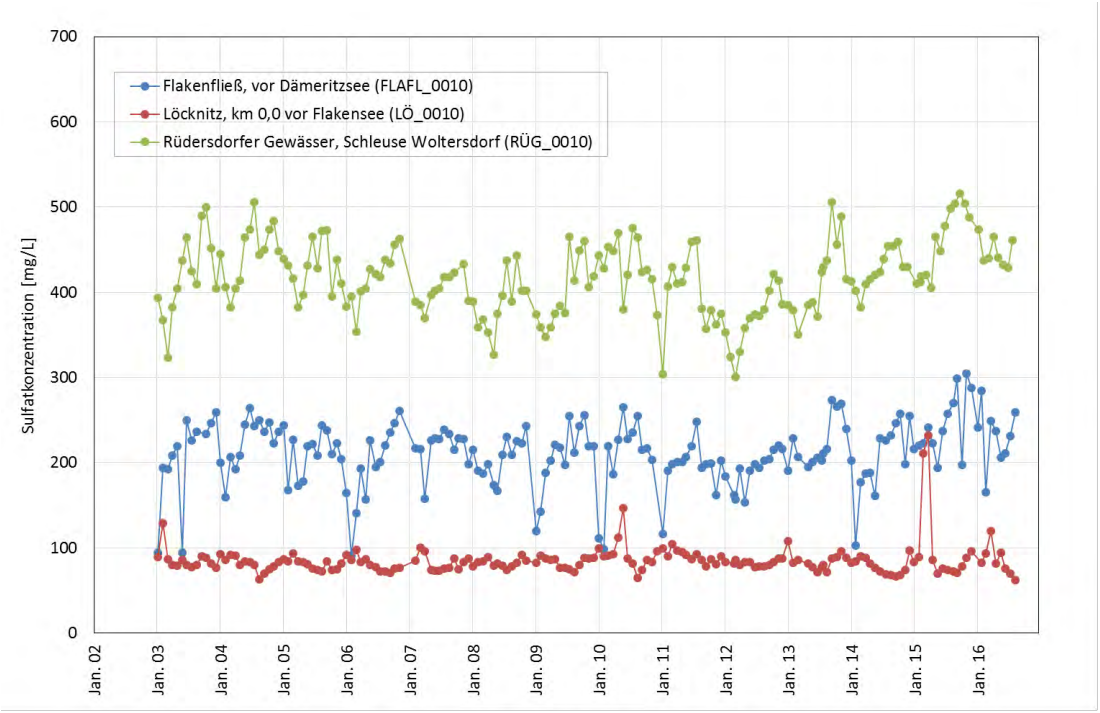


Abbildung 119: Sulfatkonzentration an den Messstellen FLAFL_0010, LÖ_0010 und RÜG_0010

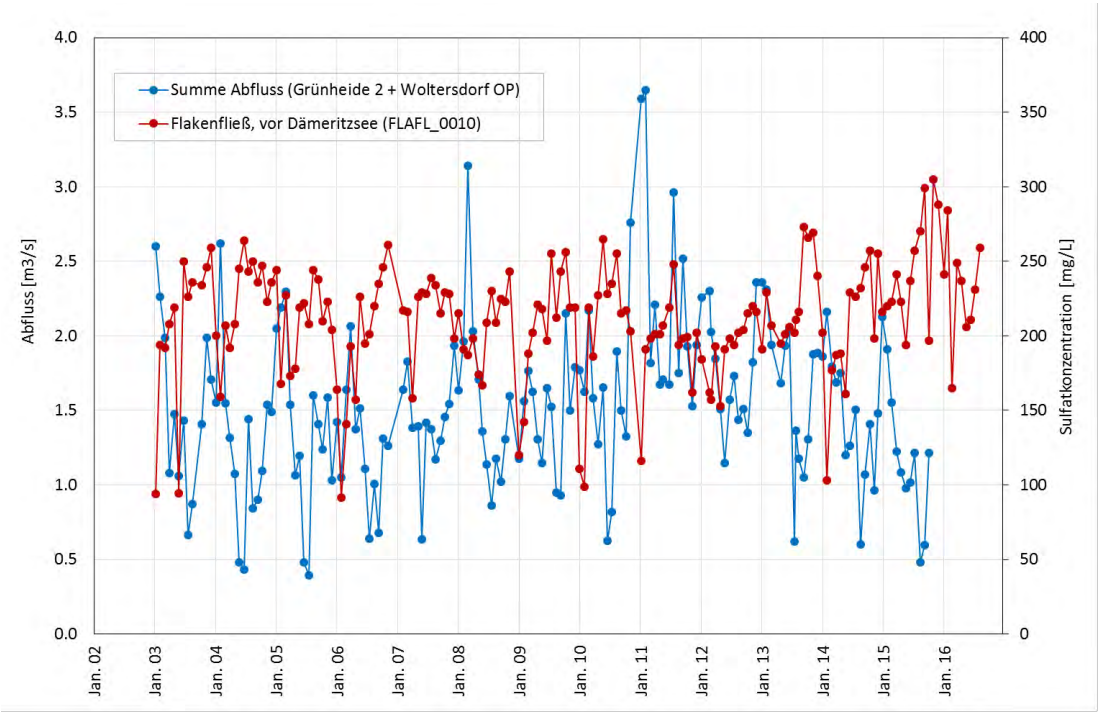


Abbildung 120: Sulfatkonzentration an der Messstelle FLAFL_0010 und Summe des Abflusses der Pegel Grünheide 2 und Woltersdorf OP

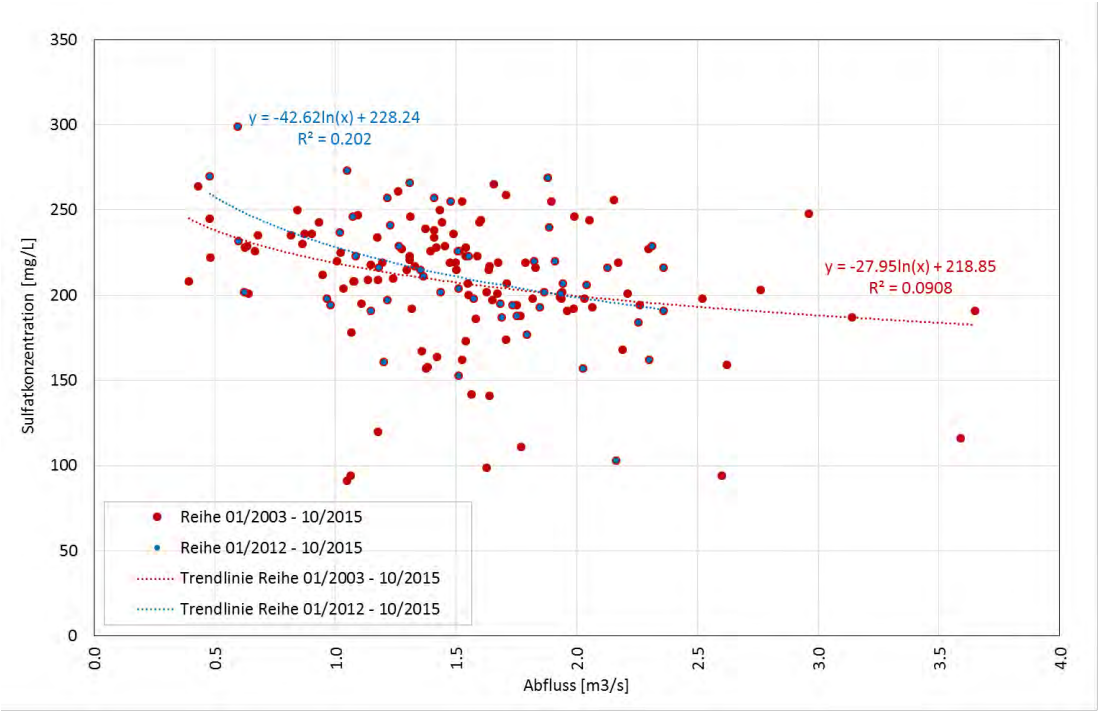


Abbildung 121: Beziehungen zwischen c und Q am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree)

Analog zu den Betrachtungen in anderen Einzugsgebieten wurde der Sulfateintrag über die Fracht näher analysiert. Dabei zeigt sich, dass mit einer mittleren Sulfatkonzentration von 210 mg/L (Reihe Jan. 2003 – Dez. 2015) an der Messstelle FLAFL_0010 und dem Gesamtabfluss gute Simulationsergebnisse erzielt werden.

Der Sulfateintrag wird als Sulfatfracht bilanziert:

FR = c * Q

wobei

FR – Sulfatfracht am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree) in g/s

c – Sulfatkonzentration aus dem Einzugsgebiet in mg/L (c = 210 mg/L)

Q – Abfluss (Dargebot) aus dem Einzugsgebiet in m^3/s.

In Abbildung 127 sind die mit der o.g. Funktion simulierte Sulfatfracht und die berechnete Sulfatfracht (Gesamtabfluss Löcknitz * Sulfatkonzentration FLAFL_0010) gegenübergestellt. Die Simulation zeigt eine gute zeitliche und mengenmäßige Überstimmung (Gütekriterien vgl. Tabelle 47).

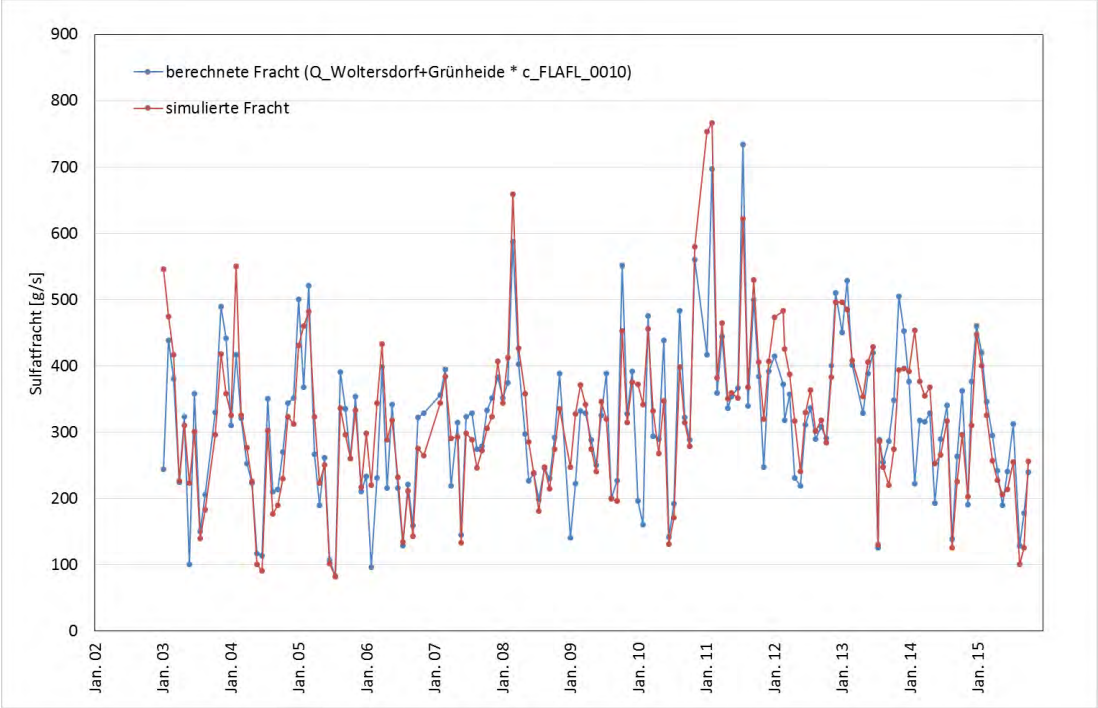


Abbildung 122: Vergleich berechnete und simulierte Sulfatfracht am EQ Löcknitz vor Mündung in den Dämmeritzsee (Mündung in die Spree)

Tabelle 47: Güte der Simulation – EQ Löcknitz

Parameter	Reihe	Anzahl der Wertepaare	Korrelations-koeffizient R [-]	Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE [-]	Mittl. relativer Fehler [%]
Sulfatfracht	Jan. 2003 – Okt. 2015	162	0,847	0,679	15,6

2.3 Sulfattranslationsmodule

Für die Ermittlung der Sulfattranslation werden die Impulse der Emissionsquerschnitte ermittelt und anschließend für den Aussagequerschnitte entsprechend aufaddiert.

Die Erzeugung der Impulse der Emissionsquerschnitte nutzt folgendes Schema:

$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t;t}} = \boldsymbol{K}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{Q,t}} * \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t}}$$ für das erste Polynom

$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t;t+1}} = \boldsymbol{K}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{Q,t+1}} * \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t}}$$ für das zweite Polynom

$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t;t+n}} = \boldsymbol{K}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{Q,t+n}} * \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ}}^{\boldsymbol{t}}$$ für das n-te Polynom

Die Summe der Impulse der Emissionsquerschnitte für den Aussagequerschnitt ist in der folgenden Gleichung enthalten:

$$\boldsymbol{F}_{\boldsymbol{AQ}}^{\boldsymbol{t}} = \sum_{\boldsymbol{i}=1}^{\boldsymbol{m}} \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ(i)}}^{\boldsymbol{t;t}} + \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ(i)}}^{\boldsymbol{t-1;t+1}} + \ldots + \boldsymbol{F}_{\boldsymbol{EQ(i)}}^{\boldsymbol{t-n;t+n}}$$

F – Fracht [g/s]

EQ – Emissionsquerschnitt

AQ – Aussagequerschnitt

K – Parameter des Polynoms

T – Zeitschnitt [mon]

2.3.1 TS Spremberg

2.3.1.1 Sulfattranslationsmodul TS Spremberg

a. Festlegung Emissionsquerschnitt

Das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg erstreckt sich vom Zulauf der TS Spremberg bis zum Ablauf.

b. Verbale Beschreibung der Datengrundlage

Bezüglich der betrachteten Komponente Durchfluss wurden die Pegel Spremberg und Bräsinchen herangezogen, für die Tageswerte von 2003 bis 2016 vorlagen.

Bei der Sulfatkonzentration im Zulauf wurden Messwerte verschiedener Standorte herangezogen. Dabei sind zu nennen:

- Spremberg Süd
- Spremberg-Wilhelmsthal
- oh. Vorsperre Bühlow
- uh. Vorsperre Bühlow

Vornehmlich wurden die Werte der Gütemessstelle Spremberg-Wilhelmsthal verwendet. Hierfür lagen Tageswerte von 2010 bis 2016 vor. Vor 2010 wurden die Stichtagsmessungen an den oben genannten Messstellen verwendet, wobei bei Mehrfachmessungen an einem Termin der Mittelwert gebildet wurde. Die Zuflüsse Kochsa und Hühnerwasser wurden aufgrund fehlender Daten bzw. der geringen Mengen bei der Aufstellung der Translationsmodelle vernachlässigt, aber beim Stoffmengenbilanzmodell über die Bilanzkorrektur berücksichtigt. Das Sulfatprognosemodell enthält dagegen beide Größen, direkt als Einleitung (Hühnerwasser) oder indirekt über das Simulationsteilgebiet 10 (Kochsa). Die Sulfatkonzentration im Ablauf wurde von der Station Bräsinchen verwendet.

c. Datenprüfung

Aus den Stichtagsmessungen und Tagesmittelwerten wurden Monatsmittelwerte gebildet. Die entsprechenden Werte für den Zulauf und den Ablauf sind Inhalt der Abbildung 123.

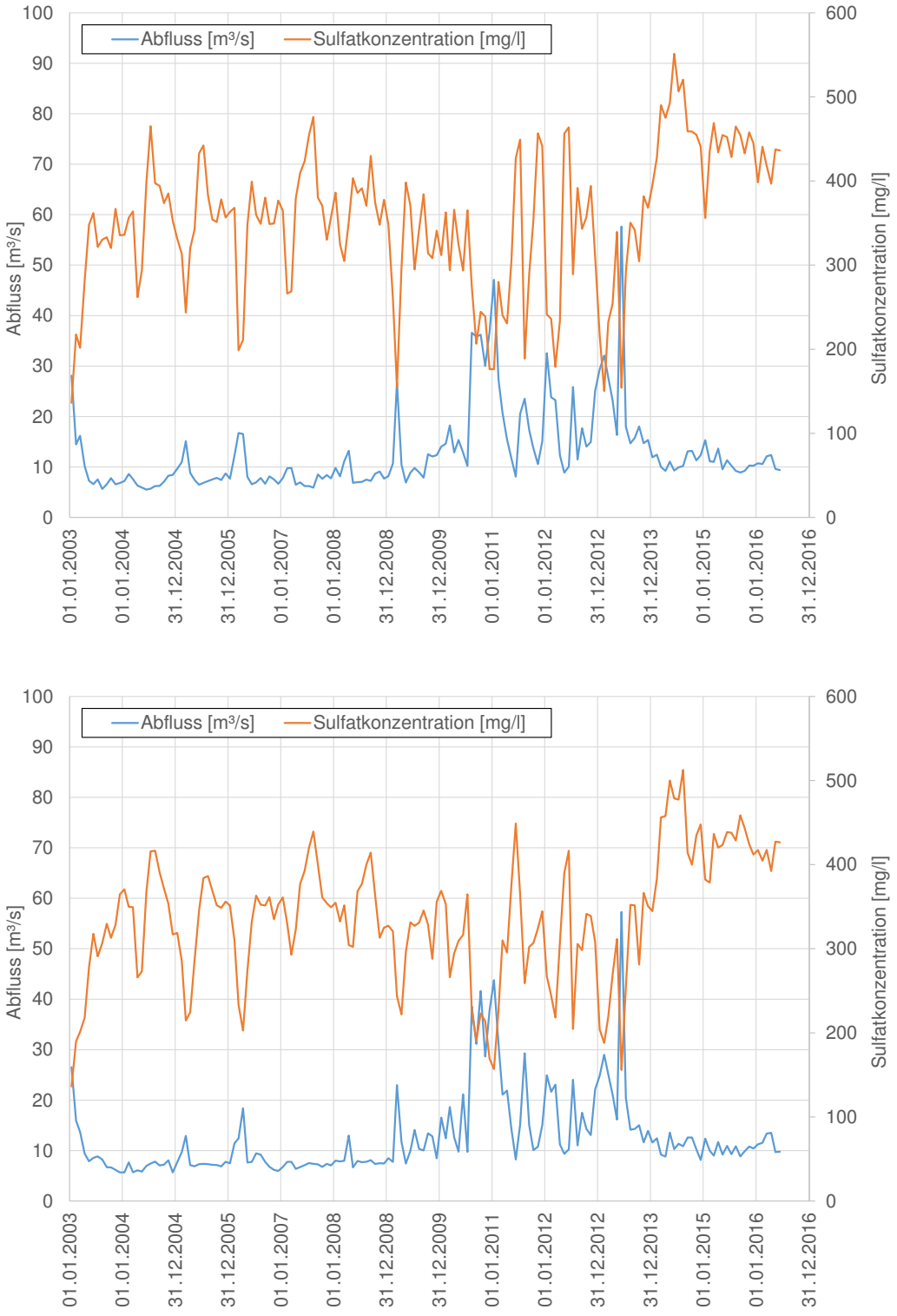


Abbildung 123: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses im Zulauf (oben) und im Ablauf (unten) der TS Spremberg

Anhand beider Abbildungen ist das prinzipiell gegenläufige Verhalten von Durchfluss und Sulfatkonzentration zu erkennen. Bei eher niedrigen Abflüssen werden vergleichsweise hohe Sulfatkonzentrationen gemessen, wogegen bei hohen Abflüssen die Sulfatkonzentration deutlich sinkt.

d. Aufbau und Kalibrierung des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg

In einem ersten Schritt wurden die Daten für den Emissionsquerschnitt Zulauf zur TS Spremberg und des Aussagequerschnittes Ablaufes der TS Spremberg zusammengestellt. Hierbei wurden der Durchfluss und die Sulfatkonzentration im Zulauf und die Sulfatkonzentration im Ablauf für den Zeitraum von 2012 bis 2016 verwendet, für den Tageswerte vorlagen, da die Genauigkeit der Eingangsdaten höher ist als bei der Verwendung von Stichtagsmessungen. Die Tageswerte wurden als Basis für die Berechnung der Wochen- und Monatsmittelwerte verwendet.

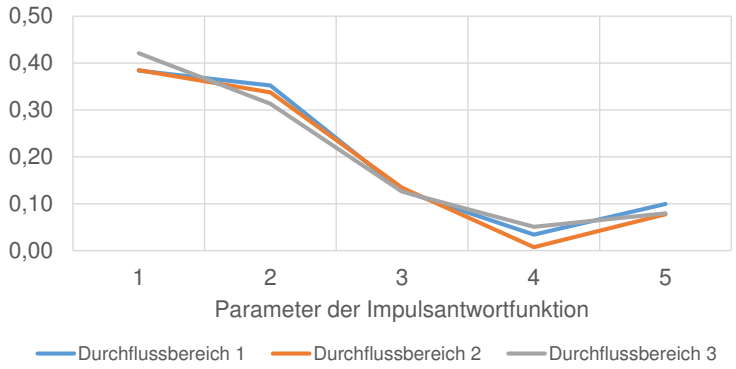
Die Analyse auf Basis von Wochenwerten wird verwendet, um ein genaueres Systemverständnis der Sulfattranslation zu erhalten. Es wird auch verwendet, um die anschließende Untersuchung auf Basis von Monatswerten zu plausibilisieren.

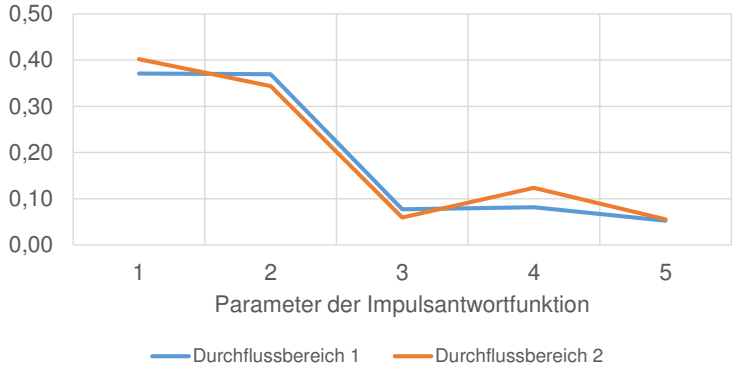
Der Start der Berechnungen wurde mit drei Durchflussbereichen und fünf Parametern der Impulsantwortfunktion durchgeführt. Der Durchflussbereich 1 beschreibt den Bereich von 0 bis 9,4 m³/s, der Durchflussbereich 2 von 9,4 bis 19,4 m³/s und der Durchflussbereich 3 höherer Abflüsse.

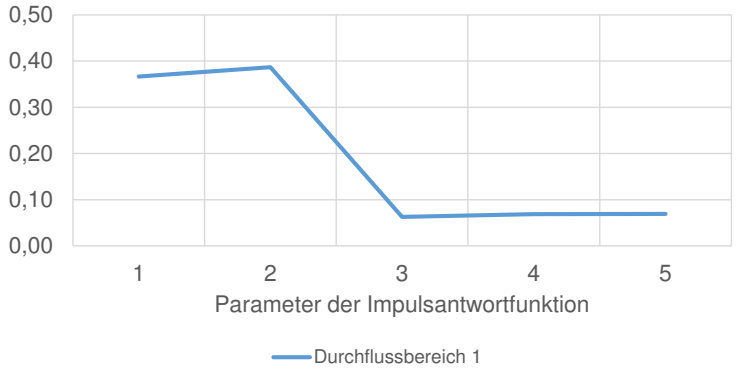
Anhand der Ergebnisse war zu erkennen (Tabelle 48 und Abbildung 124), dass alle drei Durchflussbereiche ein sehr ähnliches Verhalten zeigen. Aus diesen Gründen wurde in verschiedenen Schritten die Anzahl der Durchflussbereiche auf einen Durchflussbereich reduziert. Es war erkennbar, dass die Werte der Parameter der Impulsantwortfunktion sich nur geringfügig ändern. In einem weiteren Schritt wurde untersucht, welche Änderungen erfolgen, wenn die Anzahl der Parameter der Impulsantwortfunktion von 5 auf 3 reduziert wird. Im Ergebnis wurde vor allem der Parameter 3 geändert, der von ca. 0,06 auf 0,19 angehoben wurde. Insgesamt zeigten diese Veränderungen aber nur eine geringe Reduzierung des Gütemaßes Nash-Sutcliffe-Effizienz NSE (Nash & Sutcliffe, 1970).

Tabelle 48: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten

Variante	Durchfluss-bereiche	Anzahl der Parameter	NSE [-]
1	3	5	0,921
2	2	5	0,915
3	1	5	0,913
4	1	3	0,907







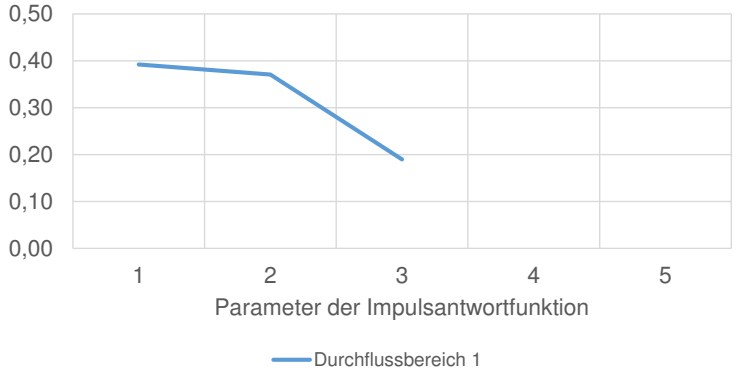


Abbildung 124: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodule TS Spremberg für verschiedene Durchflussbereiche und Anzahl von Parametern mit Wochenmittelwerten

Das Gütekriterium NSE ist eine dimensionslose und normierte Größe. Sie ist deshalb gut geeignet, um unterschiedliche Ereignisse oder unterschiedliche Flussabschnitte miteinander zu vergleichen. Nach (Uhl & Henrichs, 2008) ist eine Prognose dann brauchbar (ausreichend), wenn NSE mindestens 0,25 beträgt. Prognosen mit NSE ≥ 0,5 können als befriedigend, Prognosen mit NSE ≥ 0,8 als gut und Prognosen mit NSE ≥ 0,95 als sehr gut bezeichnet werden. Der Maximalwert von NSE beträgt 1.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen ist weiterhin erkennbar, dass in der ersten Woche ca. 39 % des Eingangsimpulses am Auslass wirksam werden und ca. 37 % in der zweiten Woche und ca. 19 % in der dritten Woche. Insgesamt gelangen somit ca. 95 % der Sulfatkonzentration vom Zuflussquerschnitt zum Auslassquerschnitt. Das heißt andererseits, dass durch die Sulfattranslation der TS Spremberg die Sulfatkonzentration um ca. 5 % reduziert wird. Eine Trennung in verschiedene Durchflussbereiche scheint ebenfalls nicht sinnvoll, da für jeden Durchflussbereich sehr ähnliche Parameter erhalten wurden und sich auch die Güte des Modells bei mehreren Durchflussbereichen nicht wesentlich erhöht.

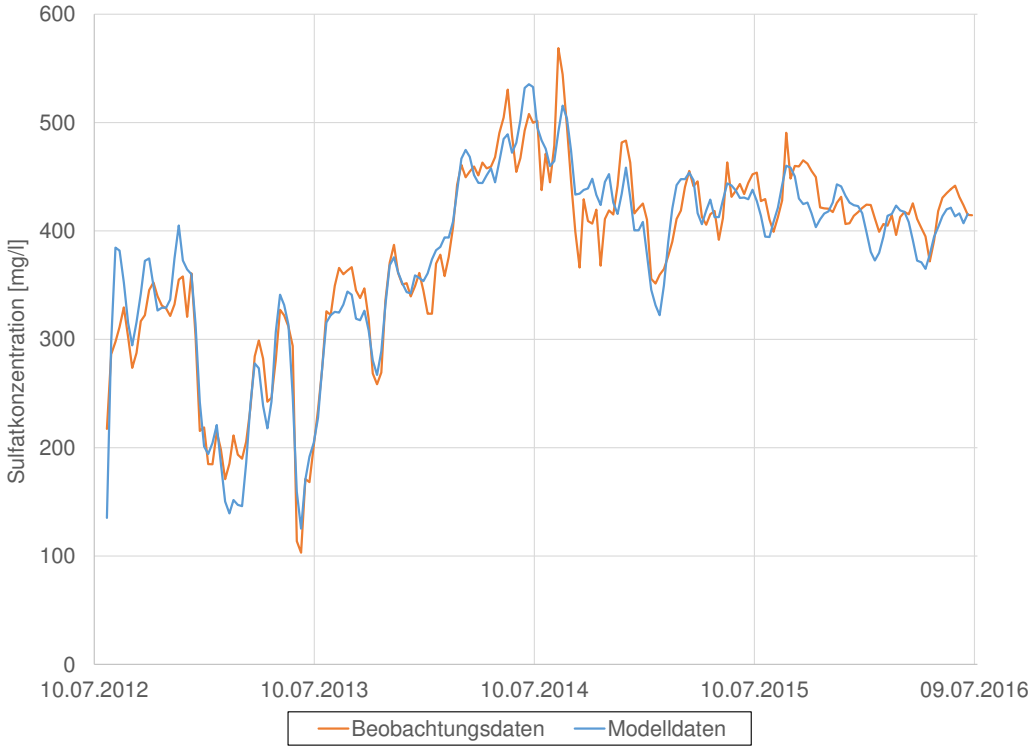


Abbildung 125: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Wochenmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) mit der Variante 4 aus Tabelle 48

In Abbildung 125 sind die beobachteten und modellierten Sulfatkonzentrationen als Wochenmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) für die Variante 4 aus Tabelle 48 dargestellt. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatkonzentrationen gut getroffen werden. Auch die Schwankungen im Verlauf werden gut wiedergegeben, auch wenn es von Ende 2015 bis Anfang 2016 eine leichte Phasenverschiebung gibt.

Im nächsten Schritt wurden die Untersuchungen auf Basis von Monatsmittelwerten durchgeführt.

Der Start der Berechnungen wurde mit zwei Durchflussbereichen und drei Parametern der Impulsantwortfunktionen durchgeführt. Der Durchflussbereich 1 beschreibt den Bereich von 0 bis 20 m³/s und der Durchflussbereich 2 höherer Abflüsse. Anhand der

Ergebnisse war erneut zu erkennen, dass die Durchflussbereiche 1 und 2 ein sehr ähnliches Verhalten zeigen. Aus diesen Gründen wurde die Anzahl der Durchflussbereiche auf einen Durchflussbereich reduziert. Im Ergebnis haben sich die Werte der Parameter der Impulsantwortfunktion nur geringfügig geändert.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen ist weiterhin erkennbar, dass im ersten Monat ca. 78 % des Eingangsimpulses am Auslass wirksam werden und ca. 14 % im zweiten Monat und ca. 4 % im dritten Monat. Insgesamt gelangen somit ca. 96 % der Sulfatkonzentration vom Emissionsquerschnitt zum Aussagequerschnitt. Das heißt andererseits, dass durch die Sulfattranslation der TS Spremberg die Sulfatkonzentration um ca. 4 % reduziert.

Im Vergleich zu den Parametern der Impulsantwort auf Basis von Wochenmittelwerten zeigt sich ebenfalls, dass innerhalb des ersten Monats der Großteil des Eingangsimpulses am Auslass wirksam wird. Im Gegensatz dazu, sind aber auch im zweiten und dritten Monat noch Parameter für die Impulsantwort vorhanden, was bei den Untersuchungen auf Wochenbasis nicht ersichtlich war. Aufgrund der geringen Anteile im zweiten und dritten Monat sind die widersprechenden Ergebnisse nicht grundsätzlich und sind demnach vergleichbar.

Die Übersicht der Varianten, einschließlich des Gütemaßes, ist Inhalt der Tabelle 49 und die Darstellung der Parameter der Impulsantwortfunktionen ist Inhalt der Abbildung 126.

Tabelle 49: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerte

Variante	Durchfluss-bereiche	Anzahl der Parameter	NSE [-]
1	2	3	0,942
2	1	3	0,939

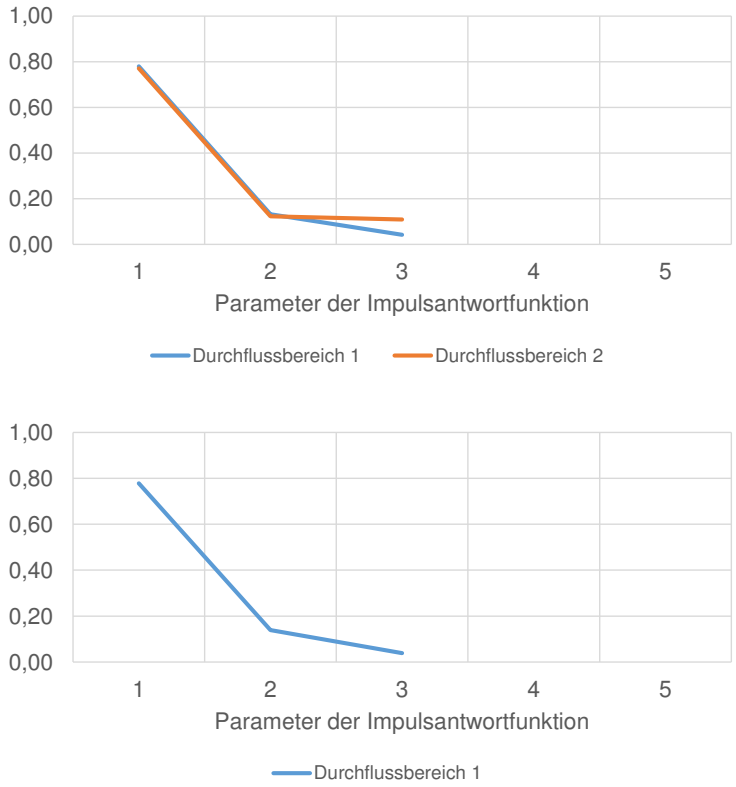


Abbildung 126: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für verschiedene Durchflussbereiche mit Monatsmittelwerte

In Abbildung 127 sind die beobachteten und modellierten Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) für die Variante 2 aus Tabelle 49 dargestellt. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatkonzentrationen gut getroffen werden. Auch die Schwankungen im Verlauf werden gut wiedergegeben, auch wenn es von Ende 2015 bis Anfang 2016 erneut eine leichte Phasenverschiebung gibt.

Die Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg ist Inhalt von Tabelle 50:

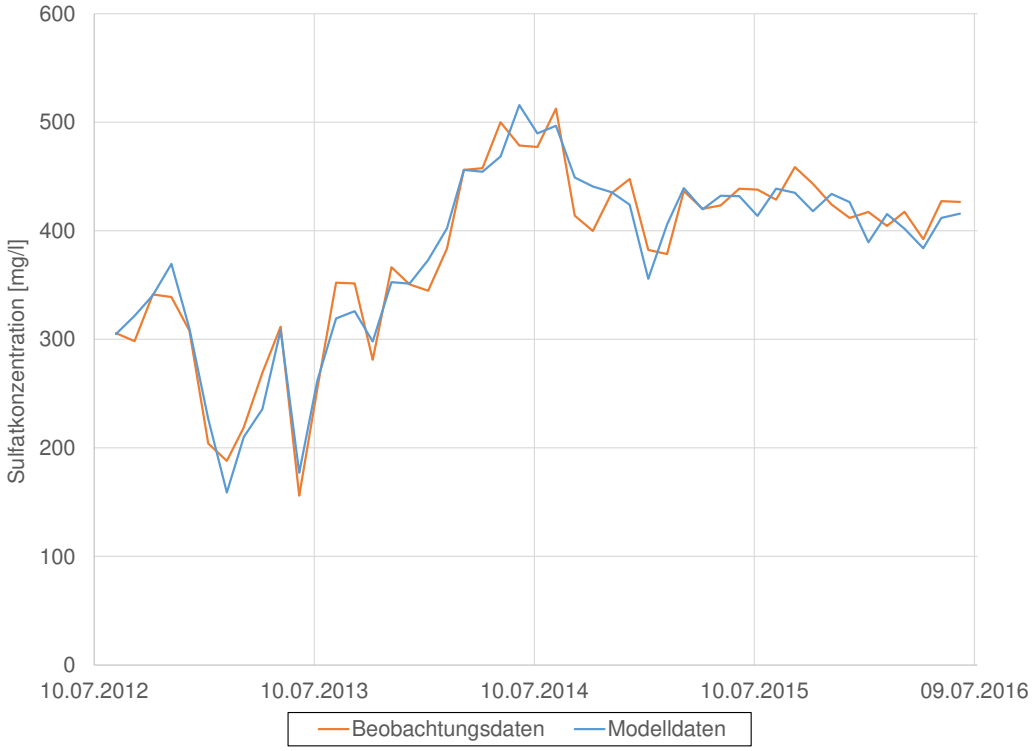


Abbildung 127: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen) mit der Variante 2 aus Tabelle 49

Tabelle 50: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für Monatsmittelwerte

Emissionsquerschnitt	Durchflussbereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Zufluss TS Spremberg	0,00	0,778	0,139	0,038

Im Ergebnis dieser Untersuchungen kann festgestellt werden, dass die Anpassungen für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg gelungen sind.

2.3.1.2 Stoffmengenbilanzmodell TS Spremberg

Im Ergebnis der Projektberatung am 11.11.2016 wurde vorgeschlagen, anstatt des Translationsmoduls TS Spremberg ein Stoffmengenbilanzmodell für die TS Spremberg aufzustellen. Voraussetzung für die Aufstellung des Modells war es, den Volumenstrom der TS Spremberg gemäß folgender Gleichung bilanztreu nachzubilden:

$$\frac{\Delta V}{\Delta t} = Q_{Zu} + Q_{KWB} - Q_{GW} - Q_{Ab}$$

mit

ΔV Volumenänderung der Talsperre in [m³]

Q_{Zu} Volumenstrom des Oberflächenzuflusses der Talsperre in [m³/s]

Q_{Ab} Volumenstrom des Oberflächenabflusses der Talsperre in [m³/s]

Q_{GW} Versickerung der Talsperre in [m³/s]

Q_{KWB} Volumenstrom der klimatischen Wasserbilanz der Talsperre in [m³/s]

Δt Zeitschrittweite in [s]

Für Q_{Zu} wurde der Pegel Spremberg und für Q_{Ab} der Pegel Bräsinchen verwendet.

Die Berechnung der klimatischen Wasserbilanz erfolgt nach:

$$\boldsymbol{Q_{KBW}(t) = \left(\frac{P(t) - E(t)}{\Delta t} \right) * A(H(t))}$$

mit

Q_{KWB} Volumenstrom der klimatischen Wasserbilanz der Talsperre im Zeitschritt t in [m³/s]

P(t) Niederschlagshöhe über der Talsperre im Zeitschritt t in [m]

E(t) Verdunstungshöhe über der Talsperre im Zeitschritt t in [m]

A(H(t)) Wasserfläche der Talsperre als Funktion des Wasserstandes im Zeitschritt t in [m²]

Δt Zeitschrittweite in [s]

Für den Term der klimatischen Wasserbilanz wurden öffentlich zugängliche Klimadaten der DWD-Station Cottbus verwendet. Die Wasserfläche der TS Spremberg wurde über den Wasserstand, mit Hilfe der Wasserstand-Inhalt-Flächen-Beziehung ermittelt, die vom LfU zur Verfügung gestellt wurden. Dieser Parameter wurde benötigt, um die Verdunstung der Wasserflächen und den auf die Wasserfläche fallenden Niederschlag zu ermittelt. Zur Berechnung der Wasserflächenverdunstung wurde das Dalton-Verfahren (DVWK, 1996) verwendet. Daten für die Versickerung der TS Spremberg wurden aus dem Sulfatprognosemodell entnommen.

Die Grundlage für die Berechnung der Stoffmengenbilanz des Sulfats ist eine geschlossene Wassermengenbilanz. Hierfür wurde mit den oben genannten Gleichungen die dynamische Wassermengenbilanz für die TS Spremberg aufgestellt. Die Berechnungsergebnisse wurden mit den aus Messdaten abgeleiteten Volumina verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Mengenbilanz der Talsperre bei Verwendung der Durchflussdaten der Pegel Spremberg und Bräsinchen nicht zu Null aufgeht.

Zum Schließen der Wassermengenbilanz für die TS Spremberg wurden zuerst in jedem Zeitschritt die Bilanzfehler ermittelt. Anschließend wurde der Durchfluss des Pegels Bräsinchen korrigiert, um die gemessenen Werte des Wasservolumens in der Talsperre bilanztreu widerzuspiegeln (Abbildung 128). Im Mittel sind zwischen den gemessenen und korrigierten Abflüssen nahezu keine Abweichungen vorhanden, können aber für den einzelnen Zeitschritt bis zu ±20 % betragen.

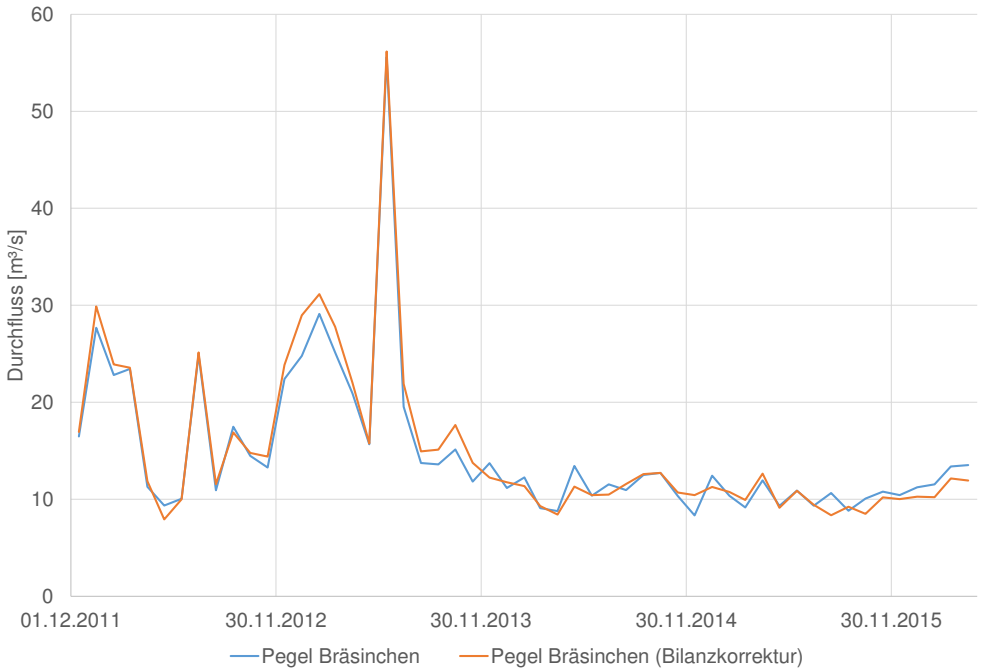


Abbildung 128: Gemessene und korrigierte Ganglinien des mittleren monatlichen Durchflusses am Pegel Bräsinchen für den Zeitraum von 2012-2016

Für die Modellierung der Stoffkomponente Sulfat wird die Änderung der Beschaffenheit durch Bilanzierung der Stoffströme gemäß folgender Gleichung ermittelt:

$$\frac{\Delta(V_M * C_M)}{\Delta t} = \sum_{i=1}^{n} Q_{Zu,i} * C_{Zu,i} - \sum_{i=1}^{m} Q_{Ab,j} * C_M$$

mit

C_M Mischkonzentration in der Talsperre in [mg/l]

V_M Volumen der Talsperre in [m³]

$Q_{Zu,i}$ Volumenstrom der i-ten Zuflusskomponente in [m³/s]

$C_{Zu,i}(t)$ Stoffkonzentration der i-ten Zuflusskomponente in [mg/l]

$Q_{Ab,i}(t)$ Volumenstrom der i-ten Abflusskomponente in [m³/s]

Δt Zeitschrittweite in [mon]

Auf Untersuchungen zu Kaskaden mit mehreren Mischungsreaktoren wurde verzichtet:

- Da Sulfat eine konservative Stoffkomponente ist und nicht im Speicher sedimentiert. Im Gegensatz dazu war bei (IWB, 2013) die Sedimentation des Eisens in der Talsperre eine Zielstellung, die mit mehreren Reaktoren besser abgebildet werden konnte.
- Der Zeitschritt von einem Monat bereits eine Durchmischung der eingetragenen Fracht im Speichervolumen implizit berücksichtigt, die auf Tageswertebene von der zeitschrittweisen Übergabe der Fracht von Kaskade zu Kaskade geleistet wird.

Der Vergleich der gemessenen und mit dem Stoffmengenbilanzmodell modellierten Sulfatkonzentration ist Inhalt der Abbildung 129.

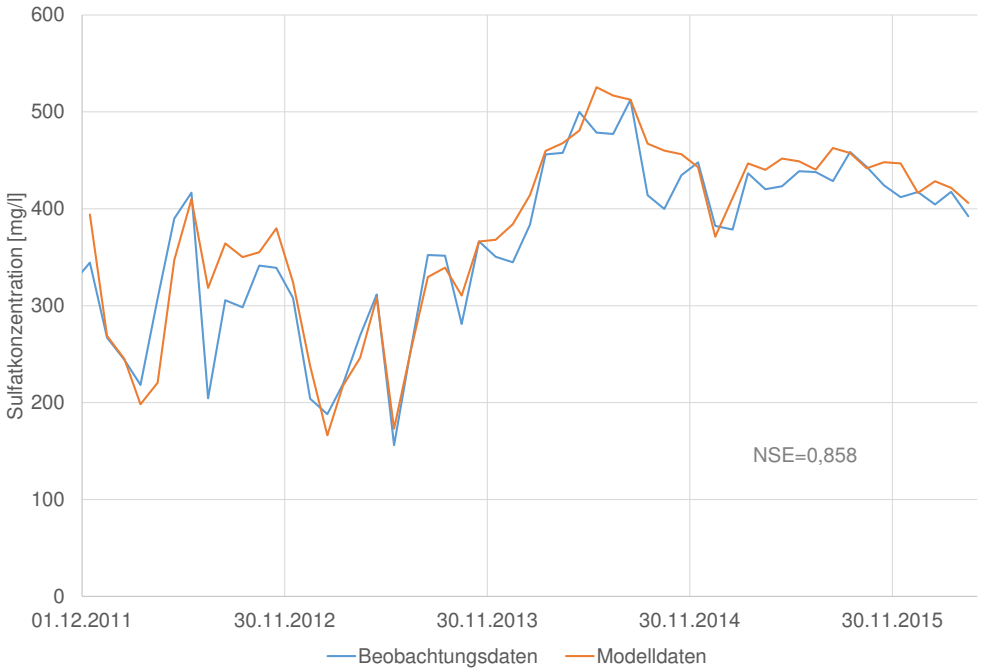


Abbildung 129: Beobachtete und modellierte Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte am Auslass der TS Spremberg (Bräsinchen)

2.3.1.3 Auswertung

Der Ergebnisvergleich anhand des Sulfattranslationsmoduls TS Spremberg (Abschnitt 2.3.1.1) und des Stoffmengenbilanzmodells TS Spremberg (Abschnitt 2.3.1.2) zeigt, dass die Sulfatkonzentration mit dem Sulfattranslationsmoduls etwas besser (NSE von 0,939 zu einem Werte von 0,858) wiedergegeben wird. Vom Auftraggeber wurde das Stoffbilanzmodell favorisiert (Ergebnis der Beratung am 11.11 2016). Aufgrund dessen, dass die Güte beider Ansätze mit gut zu bewerten und für das Stoffmengenbilanzmodell eine bessere Prognosefähigkeit für die Zukunft zu erwarten ist, wurde für die Umsetzung im Sulfatprognosemodell das Stoffmengenbilanzmodell TS Spremberg verwendet.

2.3.2 Sulfattranslationsmodul Spreewald

a. Festlegung Emissionsquerschnitt

Das Sulfattranslationsmodul Spreewald erstreckt sich vom Ablauf der TS Spremberg (Bräsinchen) bzw. dem Zufluss zum Spreewald bis zum Pegel Leibsch OP. Die berücksichtigten Emissionsquerschnitte sind:

- Nordumfluter mit Anteilen von Malxe und Spree
- Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter) einschließlich
  - Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter),
  - Müschen Paulicks-Mühle/Greifenhainer Fließ,
  - Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ,
  - Göritz/Göritzer Mühlenfließ,

- Schlabendorf einschließlich
  - Boblitz/Dobra,
  - Beuchower Graben,
  - Ragow/Wudritz,
  - Treppendorf/Berste,
- Eigendargebot Spreewald

b. Verbale Beschreibung der Datengrundlage

Bezüglich der betrachteten Komponente Durchfluss wurden die Pegel Schmogrow Wehr 6 und Wehr 7, Fehrow/Malxe, Müschen/Paulicks-Mühle, Vetschau, Göritz, Boblitz, Ragow, Treppendorf, Leibsch UP und der Dahme Umflut Kanal herangezogen, für die Tageswerte von 2003 bis 2016 vorlagen. Für Göritz lagen die Tageswerte bis November 2014 vor. Für den Beuchower Graben lagen Stichtagsmessungen des Abflusses von 2012 bis 2016 vor.

Bei der Sulfatkonzentration des Emissionsquerschnittes Zulauf Spreewald/Spree des Sulfattranslationsmoduls wurden die Messwerte für Bräsinchen aus Abschnitt 0 verwendet.

Für die oben genannten Emissionsquerschnitte lagen Stichtagsmessungen in folgender Länge vor:

- Fehrow/Malxe: 2003-2016
- Nauendorf/Greifenhainer Fließ: 2003-2016
- Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ: 2003-2016
- Göritz/Göritzer Mühlenfließ: 2004-2016
- Boblitz/Dobra: 2003-2016
- Beuchower Graben: 2003-2016
- Ragow/Wudritz: 2003-2016
- Treppendorf/Berste: 2003-2016

Für die Sulfatkonzentration im Ablauf des Sulfattranslationsmoduls wurden Messwerte aus Leibsch und Hartmannsdorf herangezogen. Vornehmlich wurden die Werte der Gütemessstelle Leibsch verwendet. Hierfür lagen Tageswerte von November 2015 bis Juni 2016 vor. Vor November 2015 wurden die Stichtagsmessungen verwendet, wobei bei Mehrfachmessungen an einem Termin die Werte von Leibsch verwendet wurden und nur als Ergänzung die Messwerte von Hartmannsdorf.

c. Datenprüfung

Die Abflussdaten lagen bereits für die Mehrzahl der Emissionsquerschnitte als Tageswerte für den Zeitabschnitt 2003-2016 vor und konnten so verwendet werden. Für Göritz wurden die Abflüsse ab 2014 mit Hilfe von Abflussdaten von Vetschau verlängert. Für den Beuchower Graben lagen dagegen nur Stichtagsmessungen des Abflusses von 2012 bis 2016 vor. Zur Ermittlung von Tageswerten (Basis zur Ermittlung der Wochen- und Monatsmittelwerte) wurde zwischen den Messungen linear interpoliert. Die Abflüsse vor 2012 wurden mit Hilfe von Ragow/Wudritz ergänzt. Für die Abflussdaten von Leibsch OP wurden die Durchflüsse von Leibsch UP und die Überleitungen in den Dahme Umflut Kanal verwendet.

Aus den vorliegenden Stichtagsmessungen der Sulfatkonzentration, die zu unterschiedlichen Zeiten und in unterschiedlicher Häufigkeit vorlagen, wurden durch lineare Interpolationen Tageswerte gebildet. Die Tageswerte wurden anschließend als Basis für die Bildung von Wochen- und Monatsmittelwerten verwendet.

Für die Emissionsquerschnitte

- Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter),
- Nordumfluter/Malxe, Spree,

mussten Anpassungen vorgenommen werden.

Bei Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter) verbleiben Abflüsse bis 10 m³/s, die dem Emissionsquerschnitt Zulauf Spreewald zugeschlagen werden. Die Sulfatkonzentration wird von Fehrow/Malxe angesetzt. Der Nordumfluter enthält dagegen den Abfluss vom Pegel Schmogrow Wehr 6 und die Abflüsse über 10 m³/s vom Pegel Fehrow/Malxe. Die Sulfatkonzentration ergibt sich dabei aus der anteiligen Mischung der Konzentrationen in Bräsinchen und Fehrow/Malxe. Bei Abflüssen von über 43 m³/s im Nordumfluter wird der entsprechende Anteil wiederum dem Spreewald zugeordnet, da im Bereich des Eichfließes der Nordumfluter auf die genannte Kapazität begrenzt ist. Der Zulauf zum Spreewald an dieser Stelle enthält demnach den Abfluss vom Pegel Schmogrow Wehr 7 und die Abschläge aus dem Nordumfluter bei Durchflüssen von über 43 m³/s. Die Sulfatkonzentrationen wurden von Bräsinchen verwendet, um auch die Translation vom Ablauf der TS Spremberg bis zum Zulauf des Spreewalds zu berücksichtigen. Bei Abschlägen aus dem Nordumfluter ergibt sich eine entsprechende Mischkonzentration.

Die entsprechenden Monatswerte des Aussagequerschnittes Leibsch OP sowie der einzelnen Zuflüsse sind Inhalt der folgenden Abbildungen:

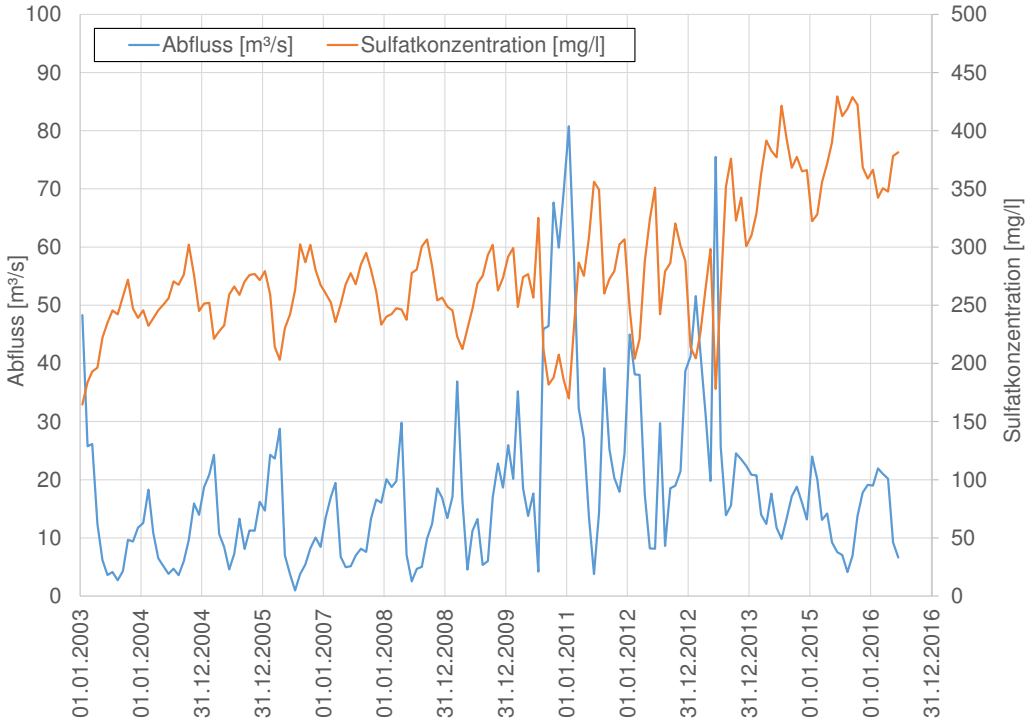


Abbildung 130: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Aussagequerschnitt Leibsch OP/Spree

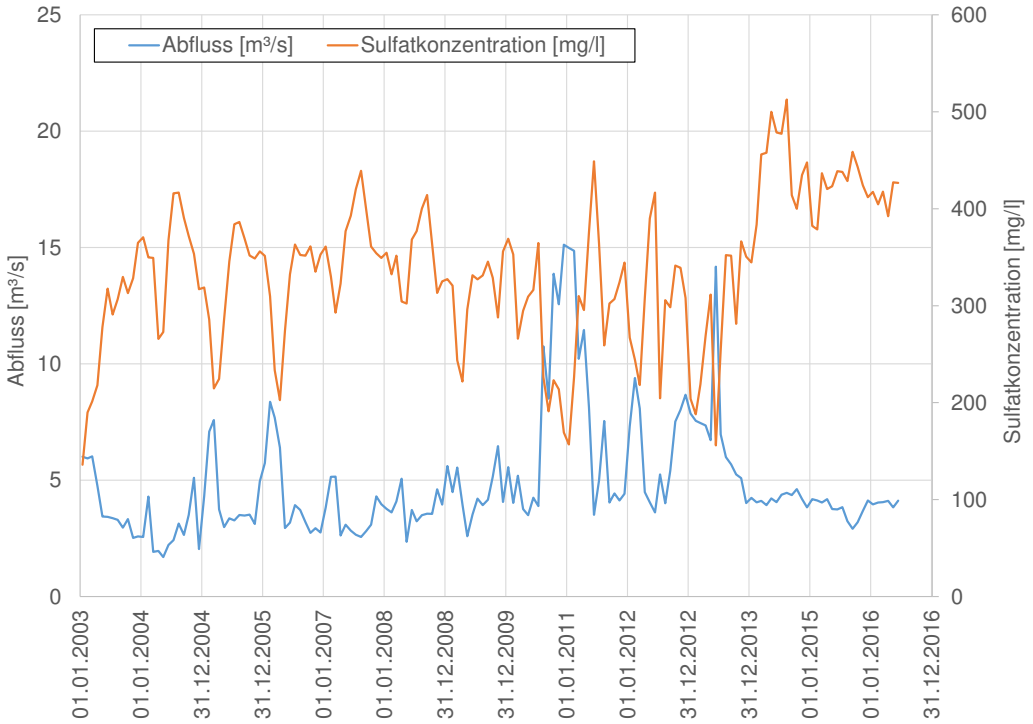


Abbildung 131: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter)

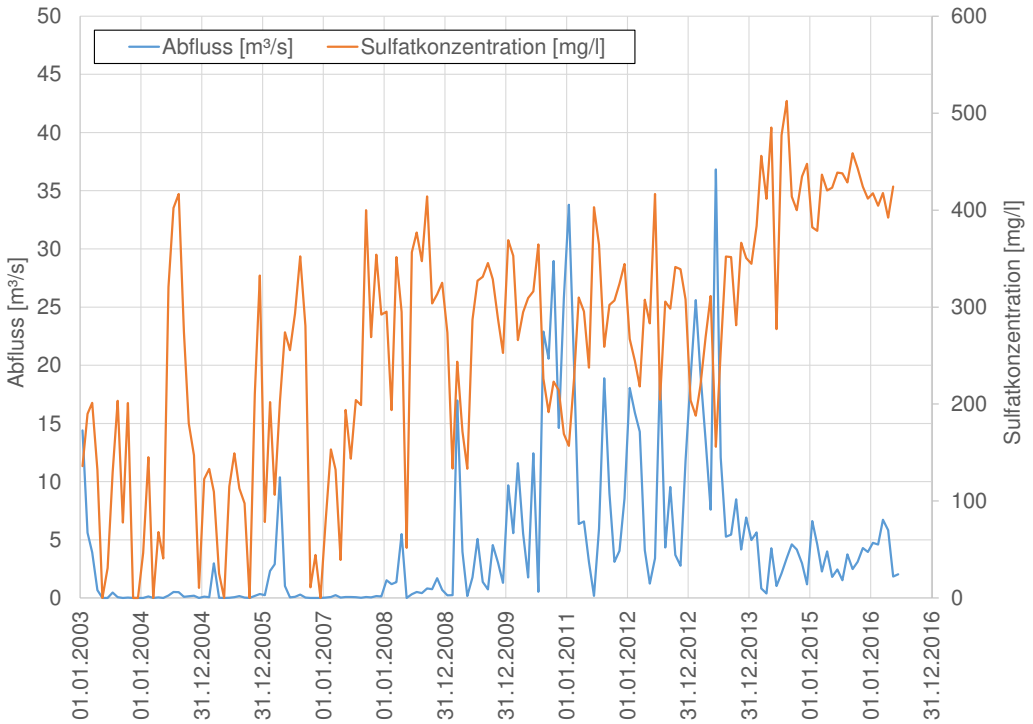


Abbildung 132: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Nordumfluter/Malxe, Spree

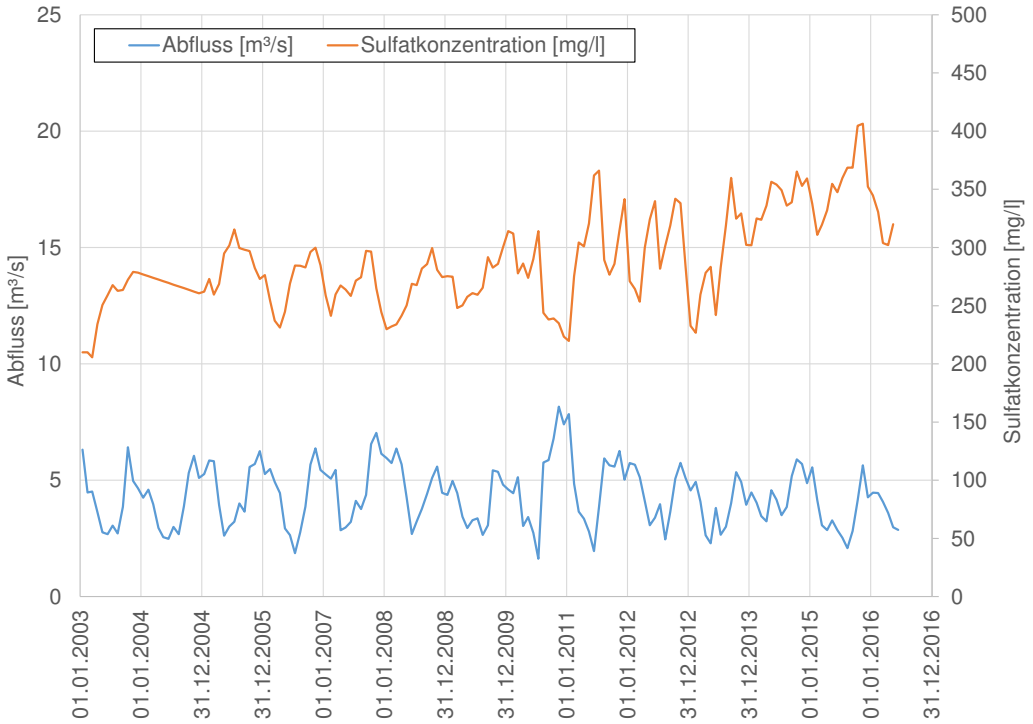


Abbildung 133: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter)

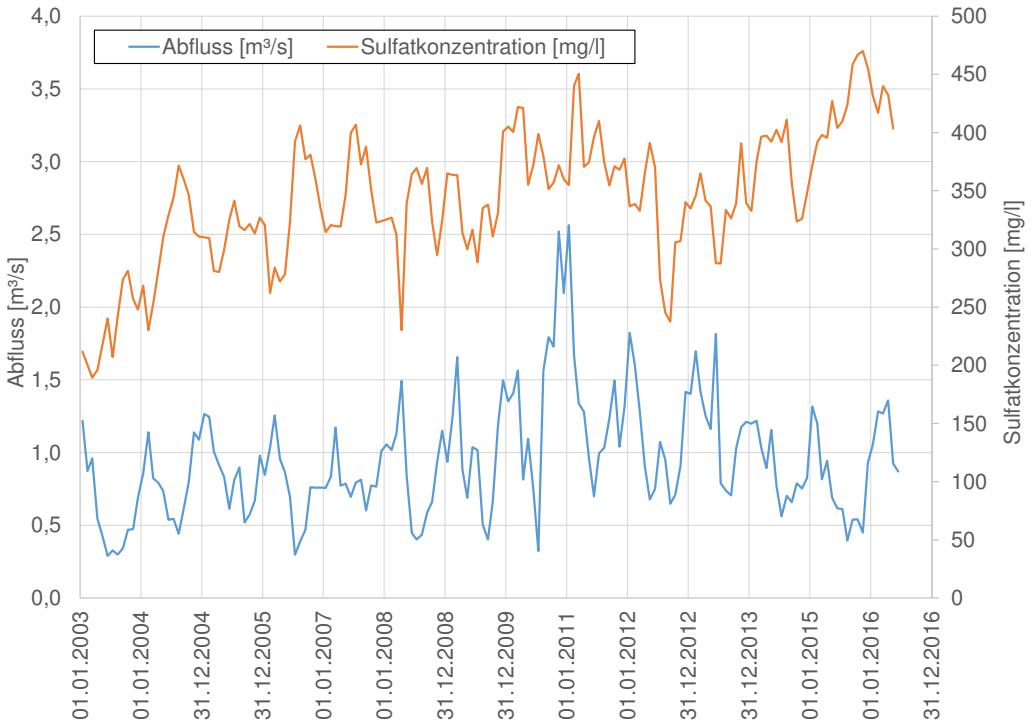


Abbildung 134: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Nauendorf, Müschen Paulicks-Mühle/Greifenhainer Fließ

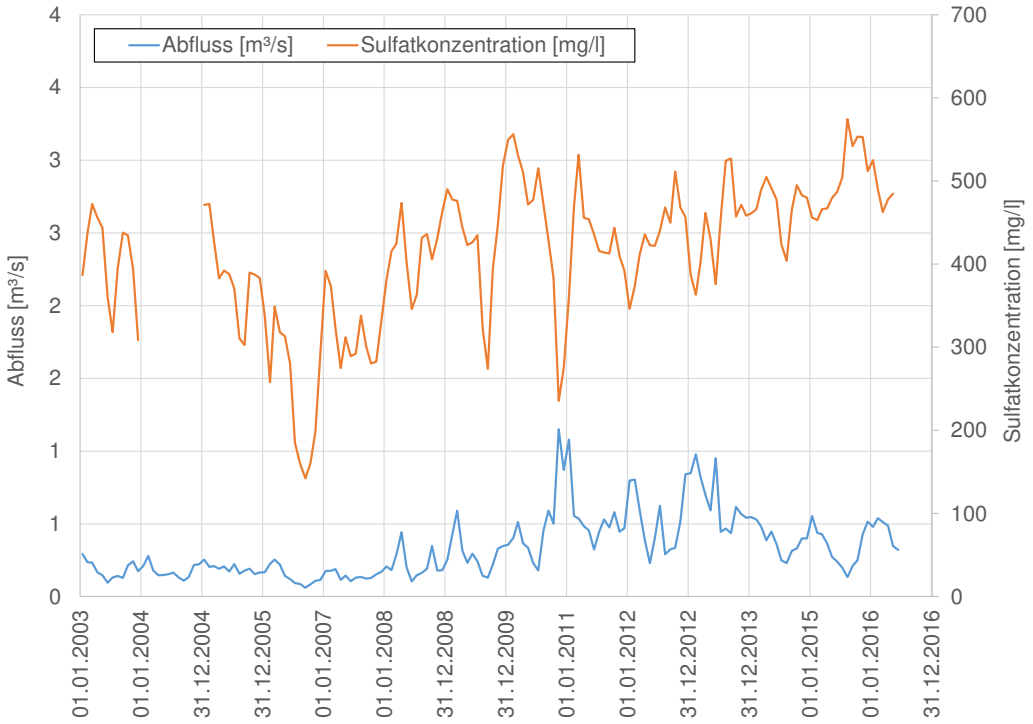


Abbildung 135: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ

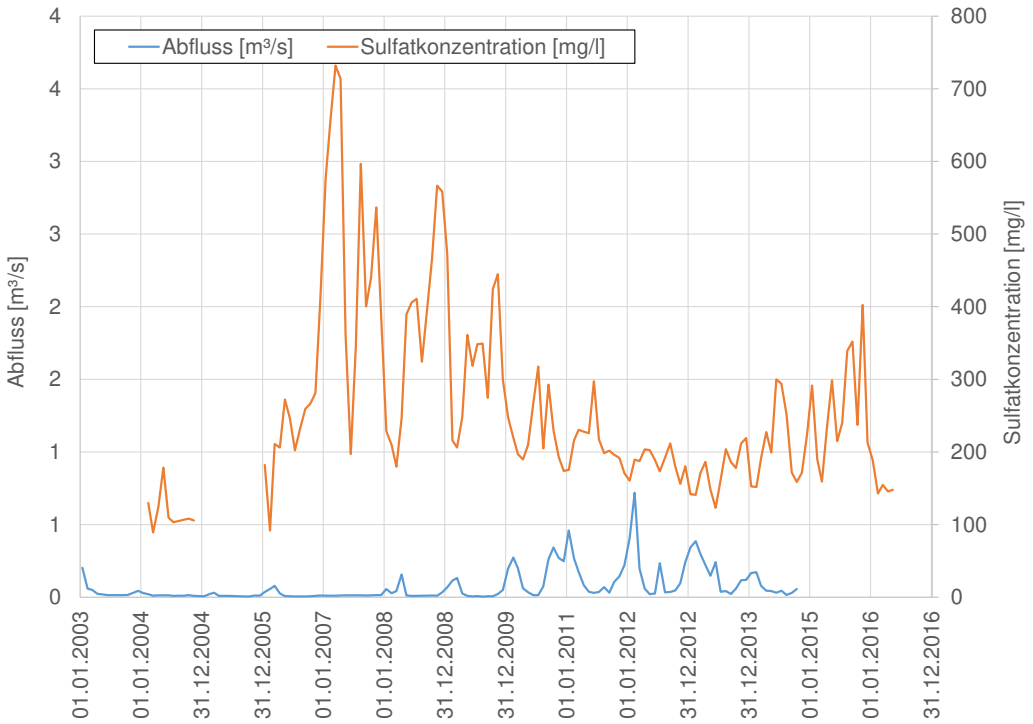


Abbildung 136: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Göritz/Göritzer Mühlenfließ

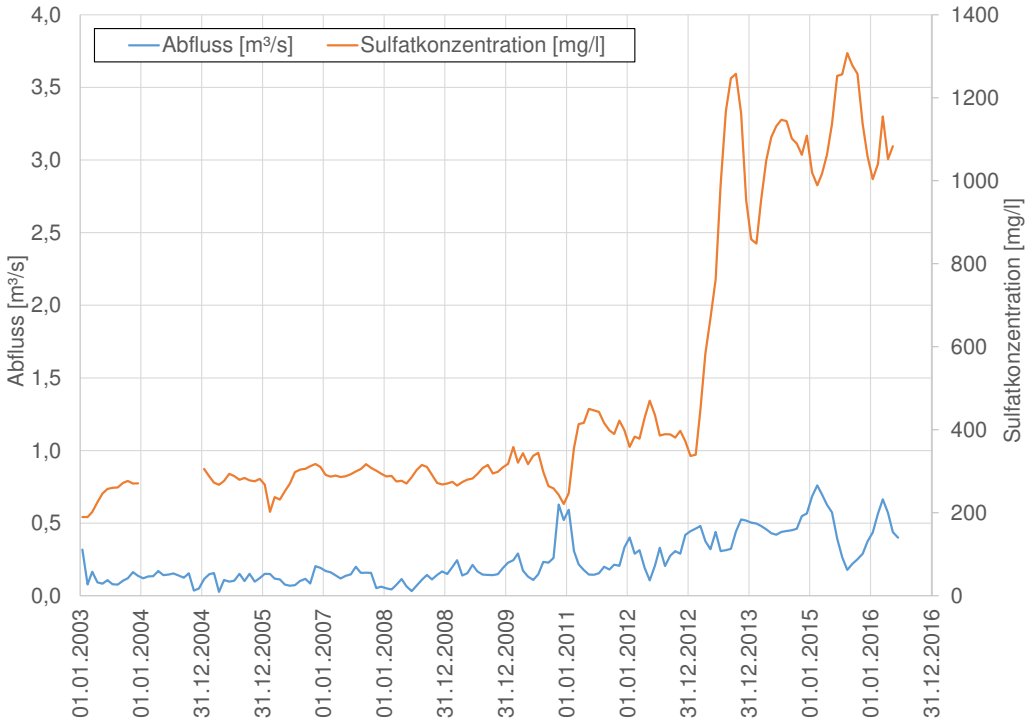


Abbildung 137: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Boblitz/Dobra

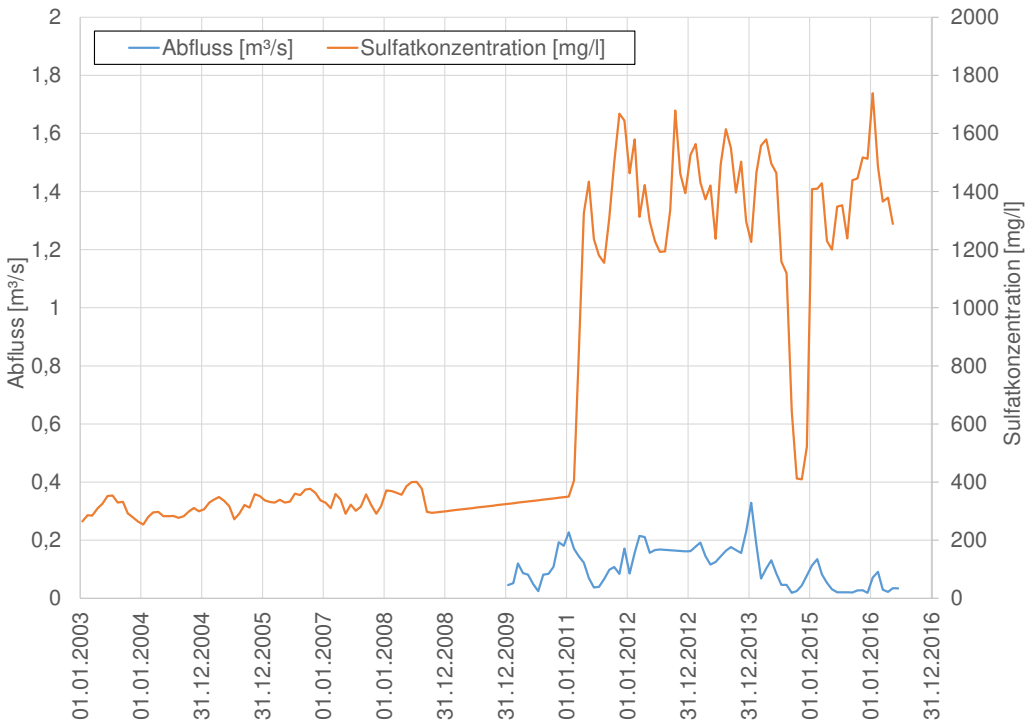


Abbildung 138: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Beuchower Graben

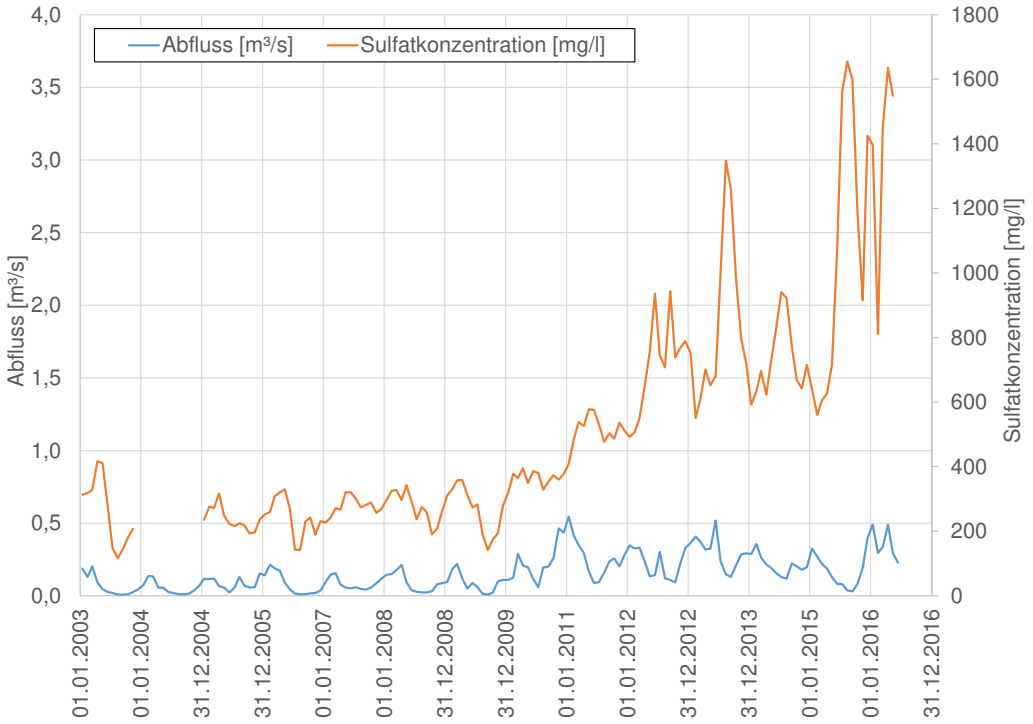


Abbildung 139: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Ragow/Wudritz

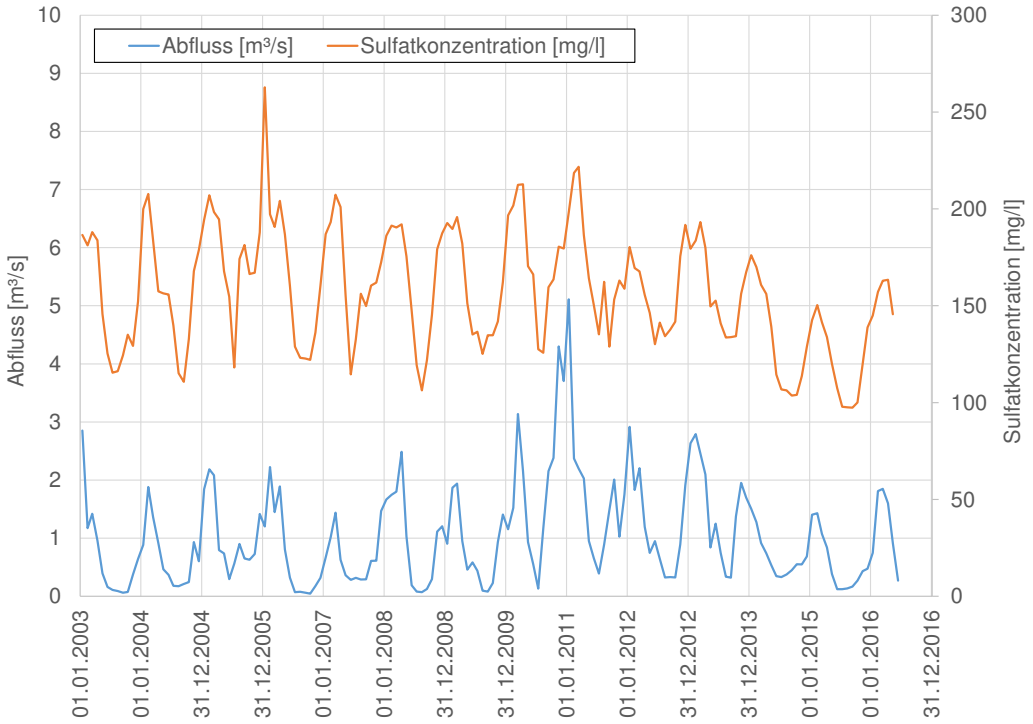


Abbildung 140: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Treppendorf/Berste

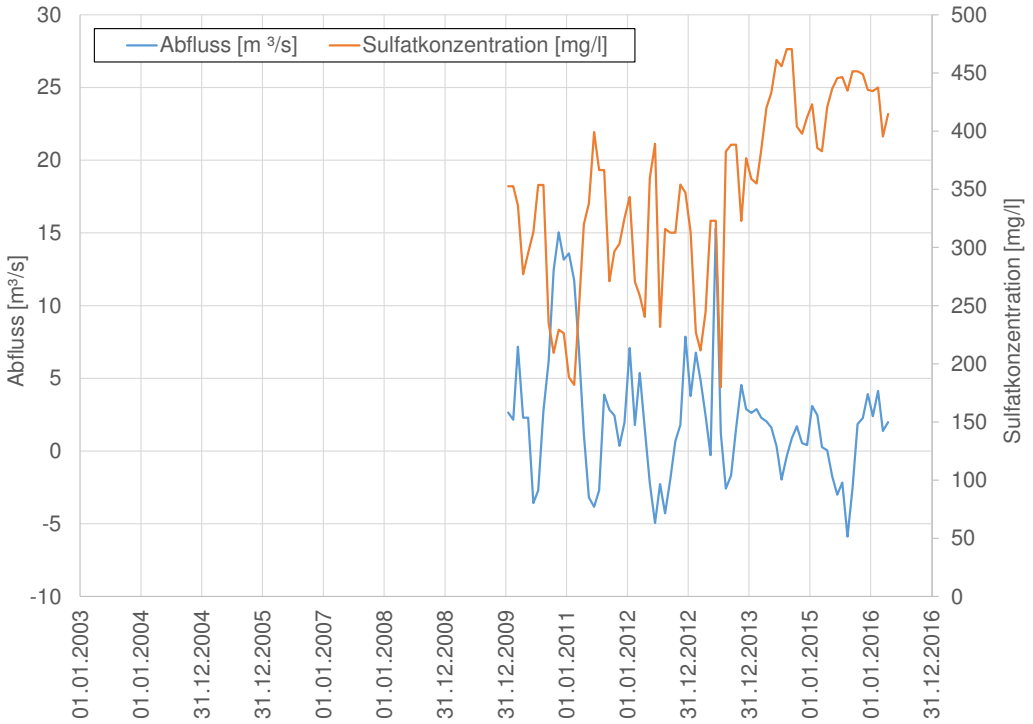


Abbildung 141: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Eigendargebotes für den Emissionsquerschnitt Eigendargebot Spreewald

Anhand der Abbildungen der einzelnen Zuflüsse Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter), Nordumfluter/Malxe, Spree, Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter), Müschen Paulicks-Mühle/Greifenhainer Fließ, Göritz/Göritzer Mühlenfließ und Boblitz/Dobra ist das prinzipiell gegenläufige Verhalten von Durchfluss und Sulfatkonzentration zu erkennen. Bei eher niedrigen Abflüssen werden vergleichsweise hohe Sulfatkonzentrationen gemessen, wogegen bei hohen Abflüssen die Sulfatkonzentrationen deutlich sinken. Es wird vermutet, dass bei höheren Abflüssen eine stärkere Verdünnung über das Einzugsgebiet stattfindet, wobei die punktuellen Sulfatquellen (z. B. GWRA, Tagebaufolgeseen) weiterhin vergleichsweise konstant Einleiten. Auffällig ist aber auch, dass die Werte für Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter) nur in einem kleinen Bereich schwanken. Hintergrund könnte sein, dass die konstanten Zuflüsse durch die Sümpfungswässer der Tagebaue und die geregelten Überleitungen in das Einzugsgebiet die Schwankungen im Abfluss und bei der Sulfatkonzentrationen stark einschränken.

Anhand der Abbildung für Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ ist zu erkennen, dass zwei Bereiche mit unterschiedlichem Verhalten existieren. Das sind etwa die Abschnitte von 2003 bis 2009 und von 2010 bis 2016. Im ersten Abschnitt ist zu beobachten, dass mit steigenden Abflüssen auch die Sulfatkonzentrationen steigen. Im zweiten Abschnitt ist das gegenteilige Verhalten zu beobachten. Auch hier wird im zweiten Abschnitt vermutet, dass bei höheren Abflüssen eine stärkere Verdünnung über das Einzugsgebiet stattfindet, wobei die punktuellen Sulfatquellen (z. B. GWRA, Tagebaufolgeseen) weiterhin vergleichsweise konstant Einleiten. Des Weiteren wird davon ausgegangen, dass das Abflussverhalten des zweiten Abschnitts auch in den kommenden Jahren seine Gültigkeit behält.

Beim Beuchower Graben, Ragow/Wudritz und Treppendorf/Berste ist dagegen ein gleichlaufendes Verhalten von Durchfluss und Sulfatkonzentration zu erkennen. Bei höheren Abflüssen werden vergleichsweise hohe Sulfatkonzentrationen registriert. Der Hintergrund könnte sein, dass bei höheren Abflüssen die Anteile aus Niedermooren (z. B. Weißacker Moor) deutlich zunehmen, die ihrerseits sehr hohe Sulfatkonzentrationen

aufweisen. Bezüglich der Wudritz weist die LMBV darauf hin, dass die oben beschriebene Beobachtung vordergründig auf die Ausleitungen aus dem RL 14/15 in den Lorenzgraben zurückzuführen sind. Beim Einzugsgebiet des Beuchower Graben resultiert der wesentliche Abfluss aus dem Tagebaufolgesee Lichtenauer See. Dieser besitzt eine Sulfatkonzentration von ca. 1500 bis 2000 mg/l, weshalb bei hohen Abflüssen aus dem See auch hohe Sulfatkonzentrationen im Beuchower Graben gemessen werden.

Für die Ermittlung des Eigendargebotes im Spreewald wurde die Differenz aus dem Abfluss am Pegel Leibsch OP und den Zuflüssen zum Spreewald ermittelt. Bei negativen Eigendargebot (Versickerung) wurde eine Mischkonzentration der Zuflüsse verwendet um die entsprechende Fracht zu ermitteln, die im Spreewald eingespeichert wird. Bei positivem Eigendargebot wurde die Mischkonzentration der Zuflüsse aus dem Vormonat angesetzt.

d. Aufbau und Kalibrierung des Sulfattranslationsmoduls Spreewald

In einem ersten Schritt wurden die Daten für die Emissionsquerschnitte:

- Nordumfluter mit Anteilen von Malxe und Spree
- Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter) einschließlich
  - Fehrow/Malxe (ohne Nordumfluter),
  - Müschen Paulicks-Mühle/Greifenhainer Fließ,
  - Vetschau/Vetschauer Mühlenfließ,
  - Göritz/Göritzer Mühlenfließ,
- Schlabendorf einschließlich
  - Boblitz/Dobra,
  - Beuchower Graben,
  - Ragow/Wudritz,
  - Treppendorf/Berste,
- Eigendargebot Spreewald

und des Ablaufes aus dem Sulfattranslationsmodul

- Leibsch OP/Spree

als Monatsmittelwerte zusammengestellt. Hierbei wurden der Durchfluss und die Sulfatkonzentration bei den Emissionsquerschnitten und die Sulfatkonzentration im Ablauf verwendet. In Abbildung 142 wurden die aufsummierten Monatsmittelwerte der Sulfatfracht in Schmogrow, Fehrow/Maxe, der Südzuflüsse und des Aussagequerschnittes Leibsch OP aufgetragen. Es ist erkennbar, dass in den Hochwasserperioden mit hoher Sulfatfracht am Aussagequerschnitt mehr Sulfat registriert wurde, als über die Zuflüsse in den Spreewald gelangen. In den Niedrigwasserperioden ist ein gegenteiliges Verhalten zu beobachten. Es wird vermutet, dass bei Niedrigwasser durch die Wehrsteuerung im Spreewald ein bedeutender Anteil der Sulfatfracht zurückgehalten wird, der im Anschluss dieser Perioden und bei Hochwasser wieder ausgeleitet wird.

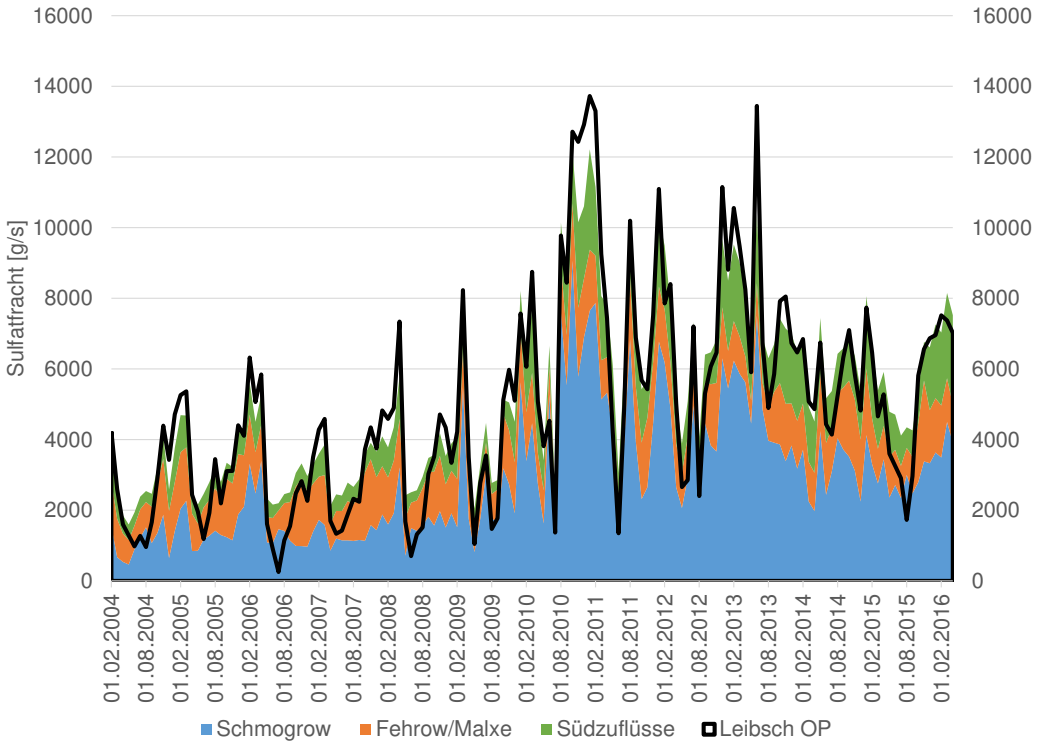


Abbildung 142: Aufsummierte Monatsmittelwerte der Sulfatfracht der Emissionsquerschnitte und des Aussagequerschnittes Leibsch OP

Aufgrund der Bereiche des unterschiedlichen Abflussverhaltens wurde nicht der gesamte Zeitraum zur Kalibrierung herangezogen, sondern der Zeitraum ab 2010 bis 2016. Hintergrund ist, dass nicht für alle Emissionsquerschnitte Daten für den kompletten Zeitraum vorlagen.

Der Start der Berechnungen wurde für alle vier Emissionsquerschnitte mit drei Durchflussbereichen und zwei Parametern der Impulsantwortfunktion durchgeführt. Anhand der Ergebnisse war zu erkennen, dass die Durchflussbereiche zum Teil ein ähnliches Verhalten zeigten. Aus diesen Grund wurde in einer zweiten Variante die Anzahl der Durchflussbereiche auf zwei Durchflussbereiche reduziert. Die Übersicht der Varianten einschließlich des Gütemaßes ist Inhalt der Tabelle 51. Im Ergebnis haben sich die Gütemaße NSE zwischen den beide Varianten nur geringfügig geändert.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 2 in Tabelle 52 ist weiterhin erkennbar, dass über die Emissionsquerschnitte Nordumfluter und Spreewald/Spree im ersten Monat ca. 90 % der Eingangsimpulse am Auslass wirksam werden. Im folgenden Monat beträgt der Anteil der Eingangsimpulse am Auslass ca. 10 %. Beim Emissionsquerschnitt Schlabendorf kommen in beiden Monaten jeweils etwa die Hälfte des Eingangsimpulses am Auslass an. Beim Emissionsquerschnitt Eigendargebot des Spreewalds werden im ersten Monat ca. 80% des Eingangsimpulses am Auslass wirksam, wogegen im zweiten Monat nur noch ein geringer Anteil enthalten ist.

Im Ergebnis dieser Untersuchung wird vorgeschlagen, die Variante 2 als Translationsmodul Spreewald zu verwenden. Die Übersicht der Parameter der Impulsantwortfunktionen für die favorisierte Variante 2 ist Inhalt der Tabelle 52.

Tabelle 51: Übersicht der Varianten und Darstellung des Gütemaßes NSE (auf Basis der Fracht) für Monatsmittelwerte

Variante	Durchfluss-bereiche	Anzahl der Parameter	NSE [-]
1	3	2	0,989
2	2	2	0,982

Tabelle 52: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul Spreewald für 2 Durchflussbereiche und 2 Parametern für die Impulsantworten mit Monatsmittelwerte der Variante 2 aus Tabelle 51

Emissionsquerschnitt	Durchflussbereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter 1	Parameter 2
Nordumfluter/Malxe, Spree	0,00	0,8915	0,1048
	2,99	0,9154	0,0632
Zulauf Spreewald/Spree (ohne Nordumfluter)	0,00	0,7342	0,1864
	7,00	0,8092	0,0617
Schlabendorf	0,00	0,3961	0,5765
	1,02	0,4517	0,2968
Eigendargebot	-6,00	0,8367	0,0176
	0,00	0,8688	0,0410

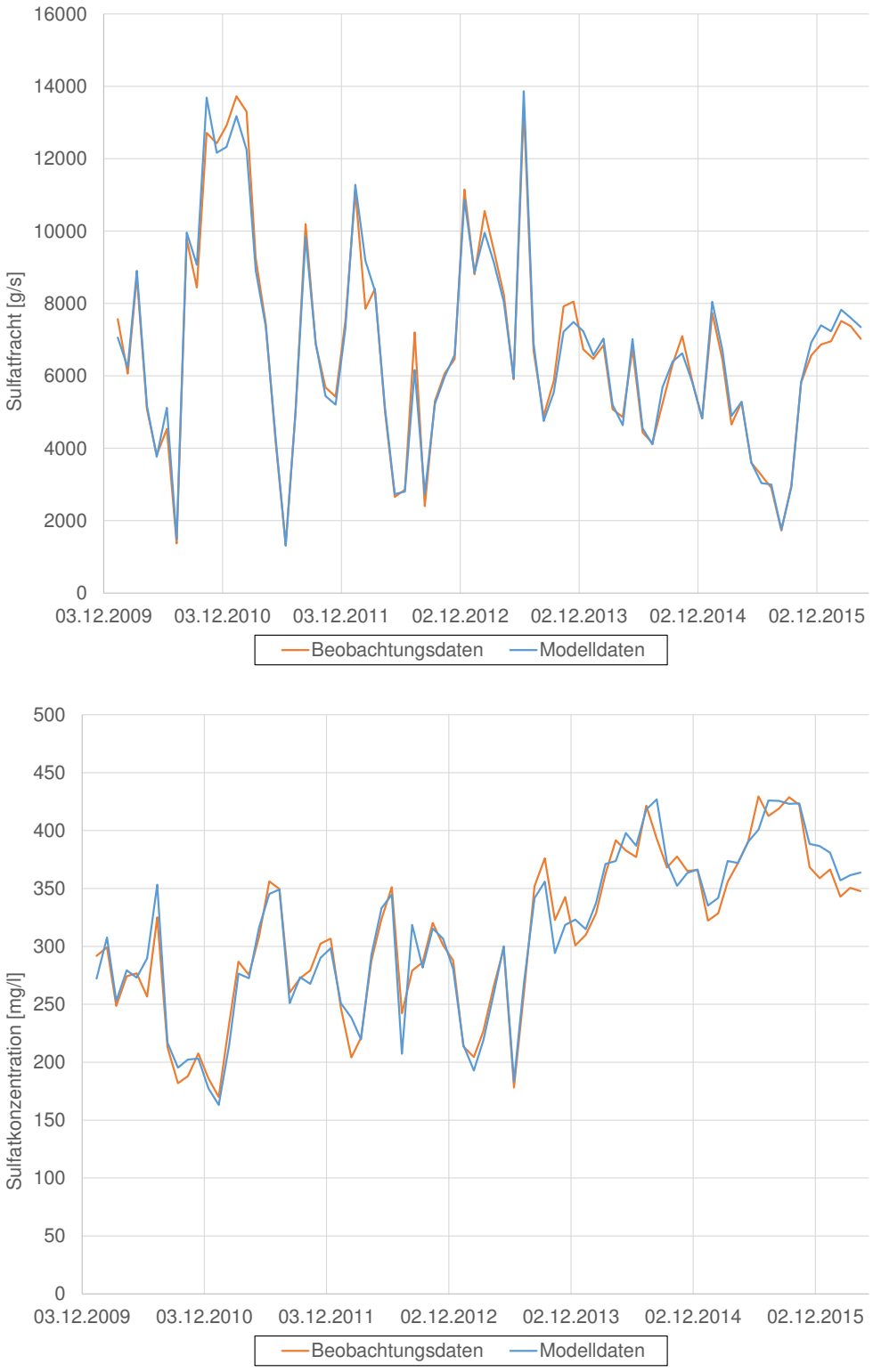


Abbildung 143: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Leibsch OP mit der Variante 2 aus Tabelle 51

2.3.3 Sulfattranslationsmodul WW Briesen

a. Festlegung Emissionsquerschnitt

Das Sulfattranslationsmodul WW Briesen erstreckt sich vom Pegel Leibsch bis zum Aussagequerschnitt WW Briesen. Aufgrund des Fehlens von Abflussmessungen in Briesen wurde ersatzweise der Pegel Beeskow verwendet.

b. Verbale Beschreibung der Datengrundlage

Bezüglich der betrachteten Komponente Durchfluss lagen für die Pegel Leibsch und Beeskow Tageswerte von 2003 bis 2016 vor.

Bei der Sulfatkonzentration im Zulauf des Sulfattranslationsmoduls wurden die Messwerte für Leibsch aus Abschnitt 2.3.2 verwendet.

Für die Sulfatkonzentration im Ablauf des Sulfattranslationsmoduls wurden Messwerte aus Beeskow, Raßmannsdorf, Neubrück, uh. Dehmsee und uh. Fürstenwalde herangezogen. In einer Reihe von Untersuchungen, in dem die Abflussreihen in Beeskow und Fürstenwalde mit den Sulfatkonzentrationsmessungen der oben genannten Stationen gegenübergestellt wurden, zeigte sich, dass die Abfluss- und Sulfatkonzentrationsmessungen in Beeskow die beste Beziehung aufwies.

c. Datenprüfung auf Homogenität und Ausreißer

Aus den Stichtagsmessungen und Tagesmittelwerten wurden Monatsmittelwerte gebildet. Die entsprechenden Werte für Beeskow sind Inhalt der Abbildung 144.

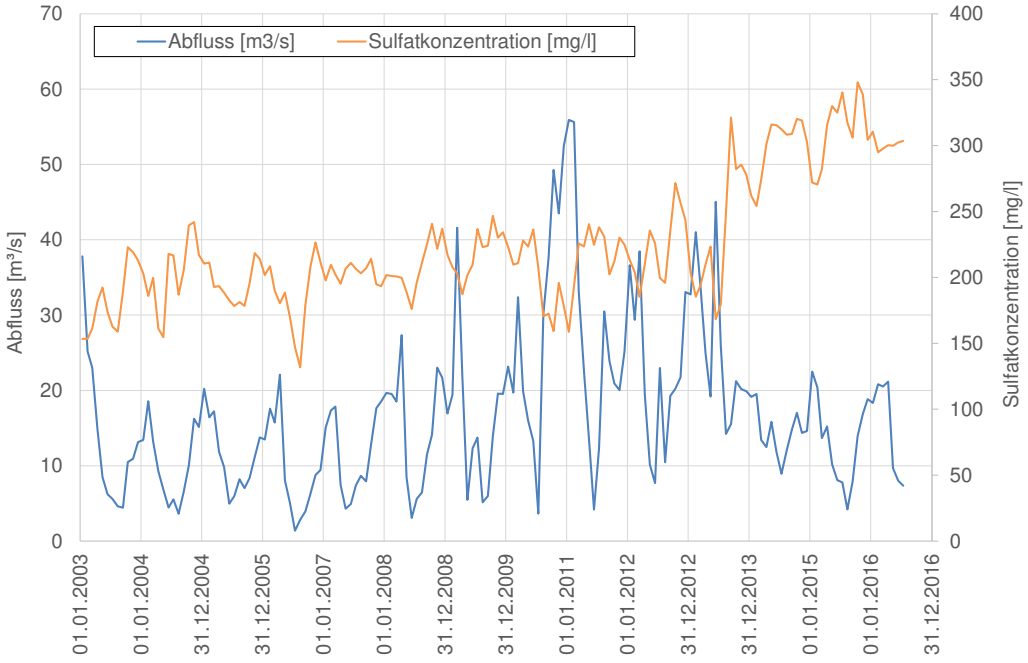


Abbildung 144: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses in Beeskow

Anhand der Abbildung ist zu erkennen, dass zwei Bereiche mit unterschiedlichem Verhalten existieren. Das sind etwa die Abschnitte von 2003 bis 2009 und von 2010 bis 2016. Im ersten Abschnitt ist zu beobachten, dass mit steigendem Abfluss auch die Sulfatkonzentration steigt. Im zweiten Abschnitt ist das gegenteilige Verhalten zu beobachten.

e. Aufbau und Kalibrierung des Sulfattranslationsmoduls WW Briesen

In einem ersten Schritt wurden die Daten für den Emissionsquerschnitt Leibsch UP und des Ablaufes zusammengestellt. Hierbei wurden der Durchfluss und die Sulfatkonzentration im Zulauf und die Sulfatkonzentration im Ablauf für den Zeitraum von 2010 bis 2016 verwendet. Der Grund ist, dass das gegenläufige Verhalten der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den gesamten Zeitraum zu einer vergleichsweise schlechten Anpassung der Modelle führen würde. Es wird weiter davon ausgegangen, dass das Verhalten der zweiten Periode plausibel ist und auch in den nächsten Jahres seine Gültigkeit beibehält. Die Tageswerte wurden als Basis für die Berechnung der Wochenmittelwerte und später für Monatsmittelwerte verwendet. Das Sulfattranslationsmodul für diesen Teil der Spree unterhalb des Spreewalds wurde auf der Basis von Fracht berechnet. Das Sulfattranslationsmodul berechnet das Verhalten der Sulfatfracht, wobei in der Auswertung auch auf die Sulfatkonzentration rückgerechnet wurde. Das Gütemaß NSE wurde dabei auf Basis der Sulfatfracht und Sulfatkonzentration berechnet. Die Zeitschritte mit Konzentrationsmessungen wurden in der PEST-Optimierung stärker gewichtet.

Um die Sulfatkonzentration der mittleren Hintergrundbelastung von 70 mg/l in den Berechnungen mit berücksichtigen zu können, wurde das Eigendargebot des Gewässerabschnittes Leibsch UP bis Beeskow als Differenz zwischen Zufluss und des Ausflusses ermittelt. Bei positivem Eigendargebot wurde entsprechend die mittlere Hintergrundbelastung von 70 mg/l angesetzt. Wenn kein Eigendargebot anliegt, wurde die Hintergrundbelastung auf null gesetzt.

Der Start der Berechnungen wurde mit drei Durchflussbereichen für den Emissionsquerschnitt Leibsch/Spree und einem Durchflussbereich für das Eigendargebot und fünf Parametern der Impulsantwortfunktionen durchgeführt. Der erste Durchflussbereich der Spree beschreibt den Bereich von 0 bis 10 m^3/s, der zweite Durchflussbereich 10 bis ca. 20 m^3/s und der dritte Durchflussbereich höherer Abflüsse. Eine größere Anzahl von Durchflussbereiche für das Eigendargebot hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse und wurde in den Auswertungen nicht weiter berücksichtigt.

Anhand der Ergebnisse war zu erkennen (Tabelle 53, Abbildung 145 und Abbildung 146), dass die Parameter 3 und 4 nur einen sehr geringen Einfluss besitzen. Aus diesem Grund wurde in verschiedenen Schritten die Anzahl der Parameter auf 3 reduziert. Die Veränderung der Parameteranzahl zeigte beim Gütemaß NSE nur eine geringe Reduzierung der Güte.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 2 ist weiterhin erkennbar, dass in der ersten Woche ca. 96 % des Eingangsimpulses am Auslass wirksam werden und ca. 3 % in der zweiten Woche und ca. 1 % in den darauffolgenden Wochen. Insgesamt gelangt somit die gesamte Sulfatfracht vom Emissionsquerschnitt zum Aussagequerschnitt. Das heißt andererseits, dass es bei der Sulfattranslation WW Briesen zu keiner Reduzierung der Sulfatfracht, aber durch die Zunahme des Abflusses zu einer Verringerung der Sulfatkonzentration führt.

In Abbildung 147 sind die beobachtete und modellierte Sulfatfracht als Wochenmittelwerte in Beeskow für die Variante 2 aus Tabelle 53 dargestellt. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatfrachten gut getroffen werden. Die Sulfatkonzentrationen wurden aus der Sulfatfracht zurückgerechnet. Bei der Auswertung wurden abweichend zur Sulfatfracht die Terminwerte der Sulfatkonzentrationsmessungen verwendet. Das Gütemaß NSE (Tabelle 53) wird bei dieser Auswertung sehr stark vom Ausreißer am 27.07.2010 beeinflusst. An diesem Tag wurde ein sehr niedriger Durchfluss registriert (4,4 m^3/s), der sich bei geringen Unterschieden in der Sulfatfracht sehr stark auf die zurückgerechnete Sulfatkonzentration auswirkt. Ohne diese Ausreißer liegt das NSE bei 0,75.

Die Ursache der Überschätzung beruht zum einen in der Rückrechnung der Sulfatkonzentration aus der modellierten Sulfatfracht mit den beobachteten Durchflussdaten. Hier müssen modellierte Werte (Sulfatfracht) mit beobachteten Werten (Durchfluss) kombiniert werden, was zu methodischen Inkonsistenzen führt. Zum anderen tritt die Überschätzung der Sulfatkonzentration nur in Perioden mit sehr geringen Durchflüssen auf. Die niedrigen Durchflüsse haben zur Folge, dass bei der Rückrechnung vergleichsweise kleine Unterschiede in den Frachten zu großen Unterschieden bei der Konzentration führen.

Tabelle 53: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls WW Briesen und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten

Variante	Durchflussbereiche Hauptfluss/Eigendargebot	Anzahl der Parameter	NSE Fracht [-]	NSE Konzentration [-]
1	3/1	5	0,885	0,642
2	3/1	3	0,882	0,639

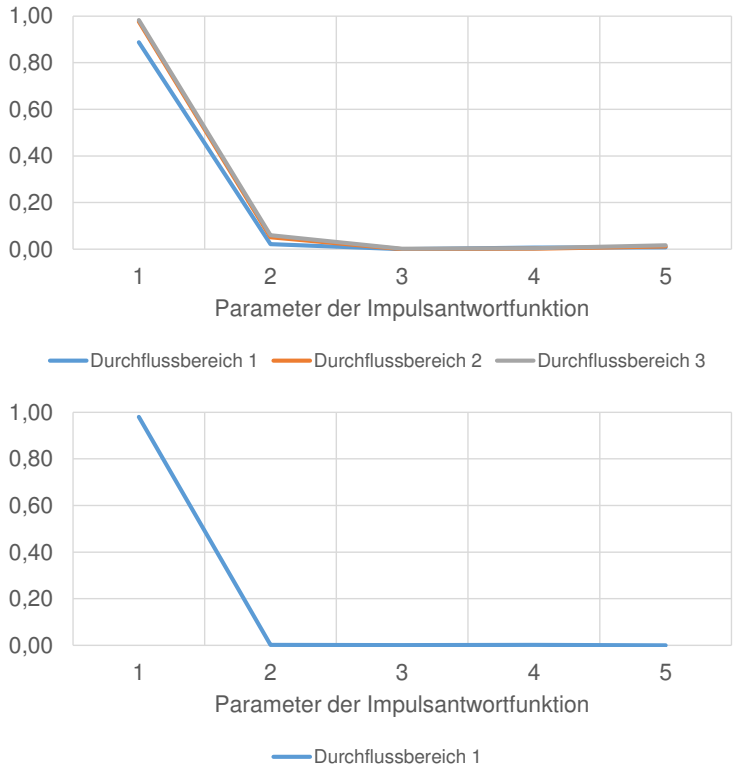


Abbildung 145: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 5 Parameter mit Wochenmittelwerten

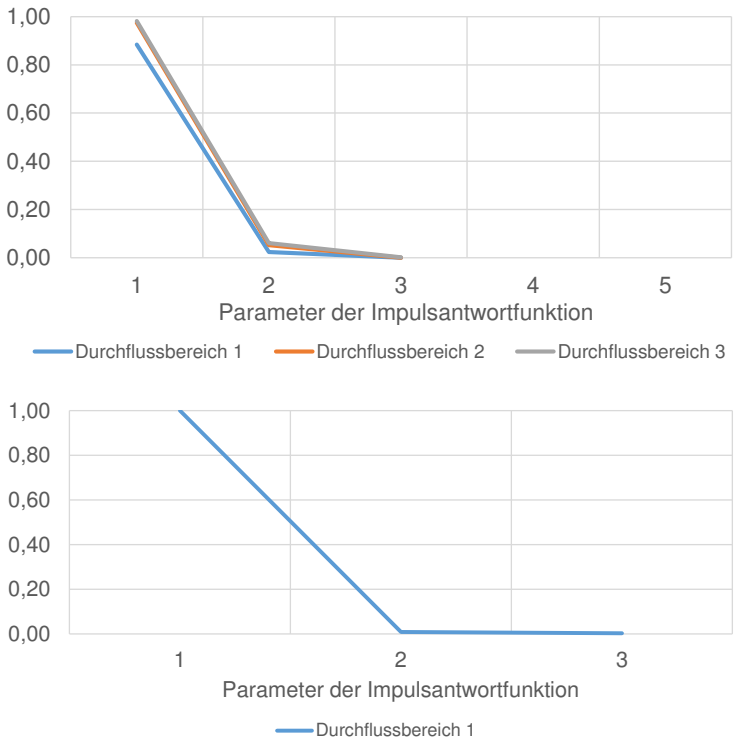


Abbildung 146: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter mit Wochenmittelwerten

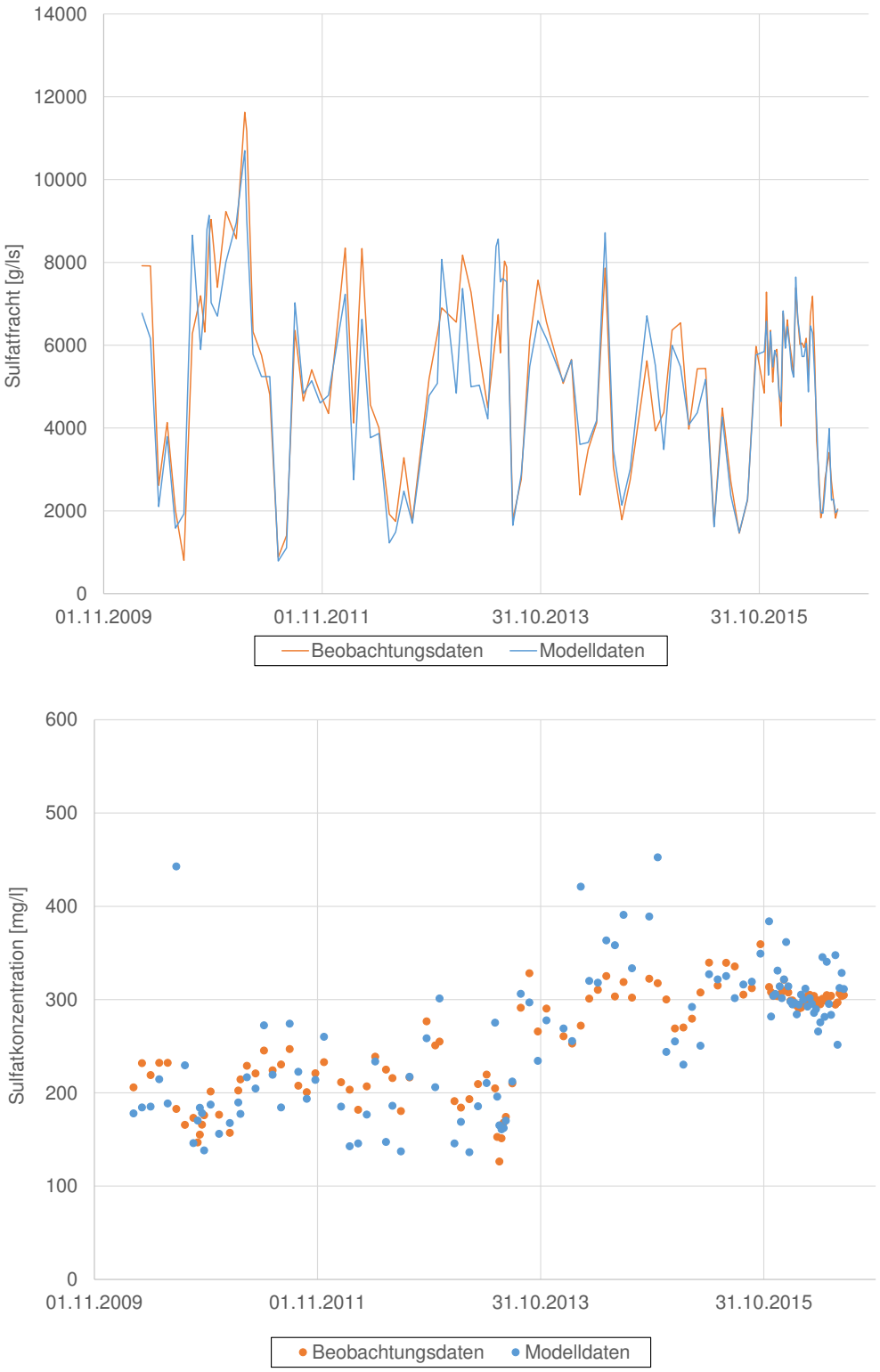


Abbildung 147: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Wochenmittelwerte für Beeskow mit der Variante 2 aus Tabelle 53

Im nächsten Schritt wurden die Untersuchungen für Monatsmittelwerte durchgeführt.

Die Berechnungen wurden mit zwei Durchflussbereichen und drei Parametern für den Emissionsquerschnitt Leibsch/Spree und einem Durchflussbereich und drei Parametern für das Eigendargebot der Impulsantwortfunktionen durchgeführt. Der Durchflussbereich

1 beschreibt den Bereich von 0 bis 13 m³/s und der Durchflussbereich 2 höherer Abflüsse. Anhand der Ergebnisse war erneut zu erkennen, dass der Durchflussbereich 1 und 2 ein sehr ähnliches Verhalten zeigt. Aus diesen Grund wurde die Anzahl der Durchflussbereiche auf einen Durchflussbereich reduziert. Im Ergebnis haben sich die Werte der Parameter der Impulsantwortfunktion nur geringfügig geändert.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 2 in Tabelle 55 ist weiterhin erkennbar, dass im ersten Monat ca. 96 % des Eingangsimpulses am Auslass wirksam werden. In den folgenden zwei Monaten werden nur noch sehr geringe Anteile des Eingangsimpulses am Auslass wirksam. Insgesamt gelangen somit ca. 96 % der Sulfatfracht vom Emissionsquerschnitt zum Aussagequerschnitt. Das heißt andererseits, dass durch die Sulfattranslation WW Briesen die Sulfatfracht um ca. 4 % sinkt.

Der Unterschied zu den Ergebnissen mit Wochenwerten beidem keine Abnahme der Sulfatfracht festzustellen sind, ist vermutlich auf die zeitweilige Unterschätzung der Modellergebnisse bei sehr hohen Sulfatfrachten zurückzuführen, was bei den Ergebnissen auf Monatsbasis so nicht zu beobachten war.

Die Übersicht der Varianten einschließlich des Gütemaßes ist Inhalt der Tabelle 54 und die Darstellung der Parameter der Impulsantwortfunktionen ist Inhalt der Abbildung 148 und Abbildung 149.

Tabelle 54: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls WW Briesen und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerte

Variante	Durchflussbereiche Hauptfluss/Eigendargebot	Anzahl der Parameter	NSE Fracht [-]	NSE Konzentration [-]
1	2/1	3	0,964	0,842
2	1/1	3	0,969	0,822

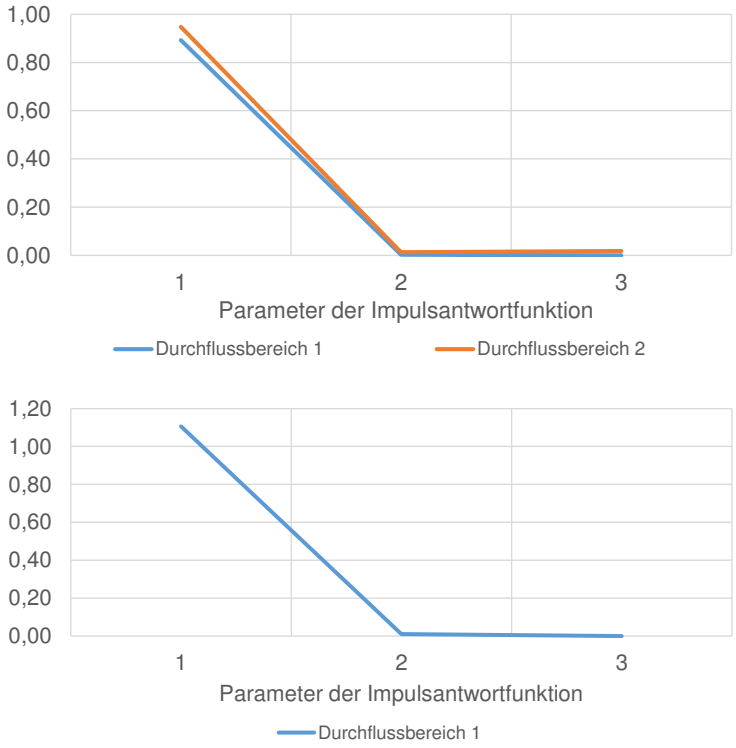


Abbildung 148: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche mit Monatsmittelwerten

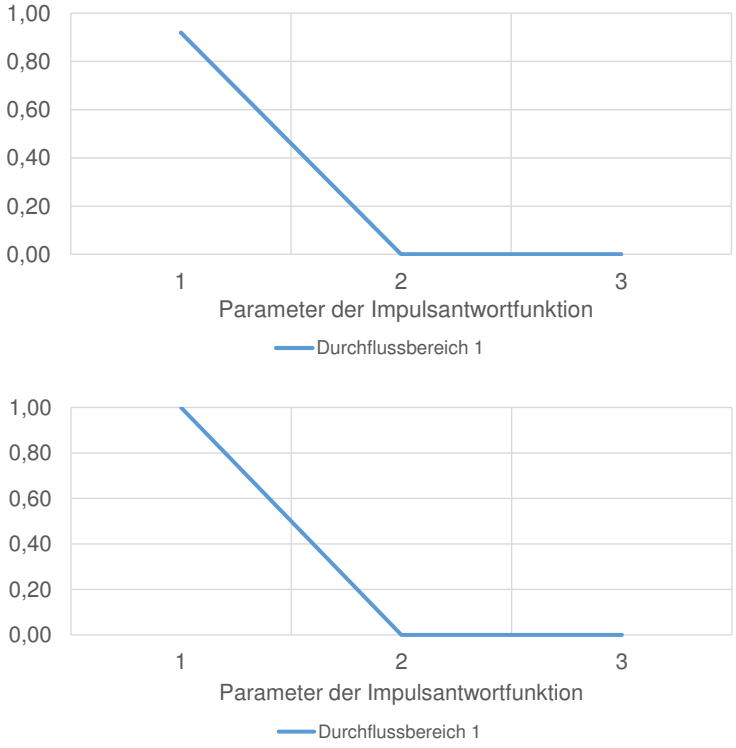


Abbildung 149: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für 3 Parameter und einem Durchflussbereich mit Monatsmittelwerten

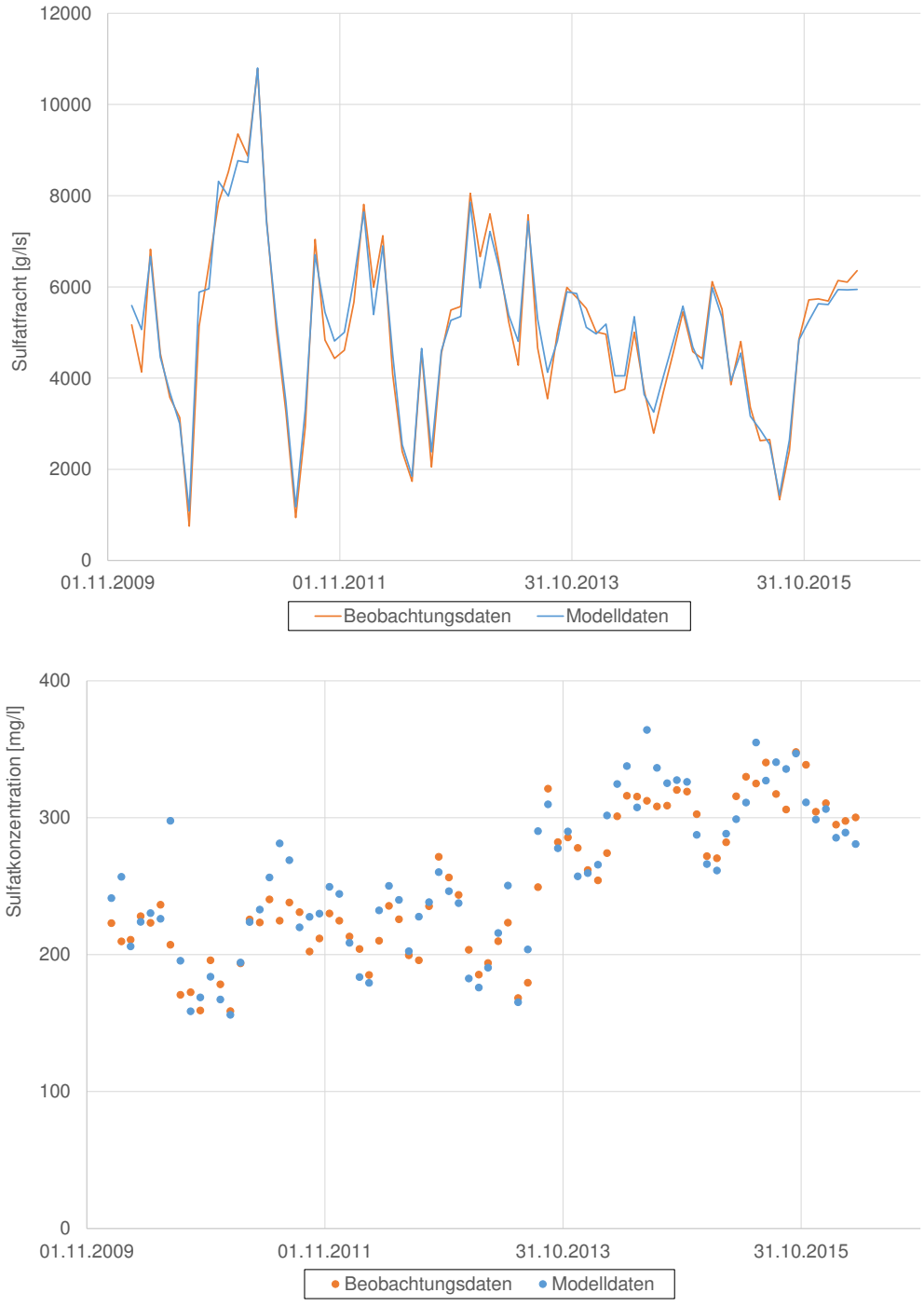


Abbildung 150: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Beeskow mit der Variante 2 aus Tabelle 54

In Abbildung 150 sind die beobachteten und modellierten Sulfatfrachten und Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte in Beeskow für die Variante 2 aus Tabelle 54 dargestellt. Die Sulfatkonzentrationen wurden aus der Sulfatfracht zurückgerechnet. Bei der Auswertung wurden abweichend zur Sulfatfracht die Terminwerte der Sulfatkonzentrationsmessungen verwendet. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatfrachten gut getroffen werden. Die modellierte Sulfatkonzentration am 27.07.2010 weicht in diesem Fall nicht so stark von den Messwerten ab und beeinflusst das Gütemaß NSE entsprechend weniger stark. Aber auch hier sind drei Bereiche mit leichten Überschätzungen der Sulfatkonzentration zu beobachten. Für mögliche

Ursachen der Überschätzung sei auf Abschnitt 2.3.2 verwiesen, in dem diese bereits diskutiert wurden.

Tabelle 55: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen für Monatsmittelwerte

Emissionsquerschnitt	Durchflussbereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter 1	Parameter 2	Parameter 3
Leibsch/Spree	0,00	0,920	4,04E-05	3,16E-07
Eigendargebot	0,00	1,000	0,000	0,000

Im Ergebnis dieser Untersuchungen kann festgestellt werden, dass die Anpassungen für das Sulfattranslationsmodul WW Briesen gelungen sind.

2.3.4 Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf

a. Festlegung Emissionsquerschnitt

Das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf erstreckt sich vom Emissionsquerschnitt Beeskow bis zum Pegel Aussagequerschnitt Rahnsdorf. Da die Abflussaufzeichnungen vom Aussagequerschnitt Rahnsdorf mitunter fehlerbehaftet sind, wurde vom Senat Berlin (Herr Rehfeld-Klein) vorgeschlagen, stattdessen den Aussagequerschnitt Große Tränke zu verwenden. Die berücksichtigten Emissionsquerschnitte sind:

- Beeskow/Spree,
- Schleuse Kersdorf, Oder Spree Kanal,
- Eigendargebot Spreewald.

b. Verbale Beschreibung der Datengrundlage

Bezüglich der betrachteten Komponente Durchfluss wurden die Pegel Beeskow, Große Tränke UP, Wernsdorf OP, Schleuse Kersdorf herangezogen, für die Tageswerte von 2003 bis 2016 vorlagen. Zur Berücksichtigung relevanter Nutzungen wurden darüber hinaus die Entnahmen des Pumpwerk Neuhaus und die des Wasserwerkes Briesen verwendet.

Bei der Sulfatkonzentration im Zulauf des Sulfattranslationsmoduls wurden die Messwerte für Beeskow/Spree aus Abschnitt 2.3.3 verwendet.

Für den Emissionsquerschnitt Schleuse Kersdorf/Oder Spree Kanal lagen Stichtagsmessungen von 2006 bis 2016 vor.

Für die Sulfatkonzentration im Ablauf des Sulfattranslationsmoduls wurden Messwerte aus Fürstenwalde verwendet.

c. Datenprüfung

Aus den Stichtagsmessungen und Tagesmittelwerten wurden Wochen-Monatsmittelwerte gebildet. Für den Aussagequerschnitt des Sulfattranslationsmoduls WW Rahnsdorf wurde der Pegel Große Tränke OP verwendet. Dafür wurden die Abflüsse von Große Tränke UP und Wernsdorf OP zusammengefasst. Des Weiteren wurden die Nutzungen des Pumpwerk Neuhaus und des Wasserwerks Briesen

herausgerechnet. Für die Sulfatkonzentration wurden die Messwerte von Fürstenwalde verwendet.

Um die Sulfatkonzentration der mittleren Hintergrundbelastung von 70 mg/l in den Berechnungen mit berücksichtigen zu können, wurde das Eigendargebot des Gewässerabschnittes Beeskow bis Große Tränke als Differenz zwischen der Summe der Zuflüsse und Nutzungen einerseits und des Ausflusses bei Pegel Große Tränke OP andererseits ermittelt. Bei positivem Eigendargebot wurde entsprechend die mittlere Hintergrundbelastung von 70 mg/l angesetzt. Ist kein Eigendargebot vorhanden wurde die Hintergrundbelastung auf null gesetzt.

Die entsprechenden Werte für den Aussagequerschnitt Fürstenwalde und Große Tränke OP sind Inhalt der Abbildung 151. Die Emissionsquerschnitte Schleuse Kersdorf/Oder Spree Kanal und das Eigendargebot sind Inhalt der Abbildung 152 und Abbildung 153.

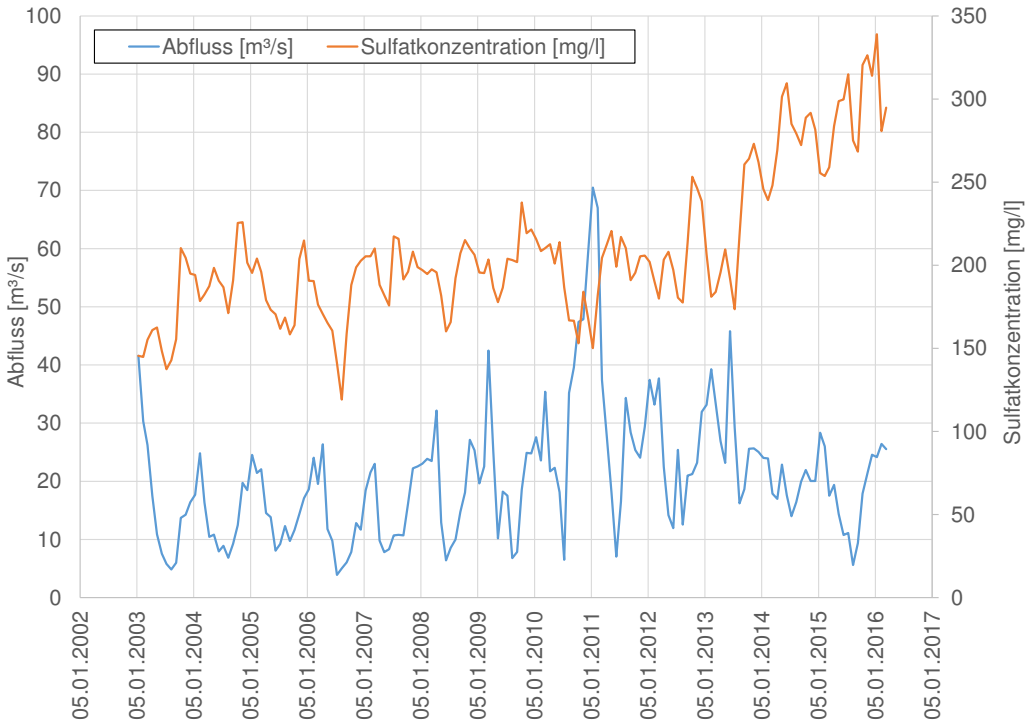


Abbildung 151: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration in Fürstenwalde und des Durchflusses in Große Tränke OP

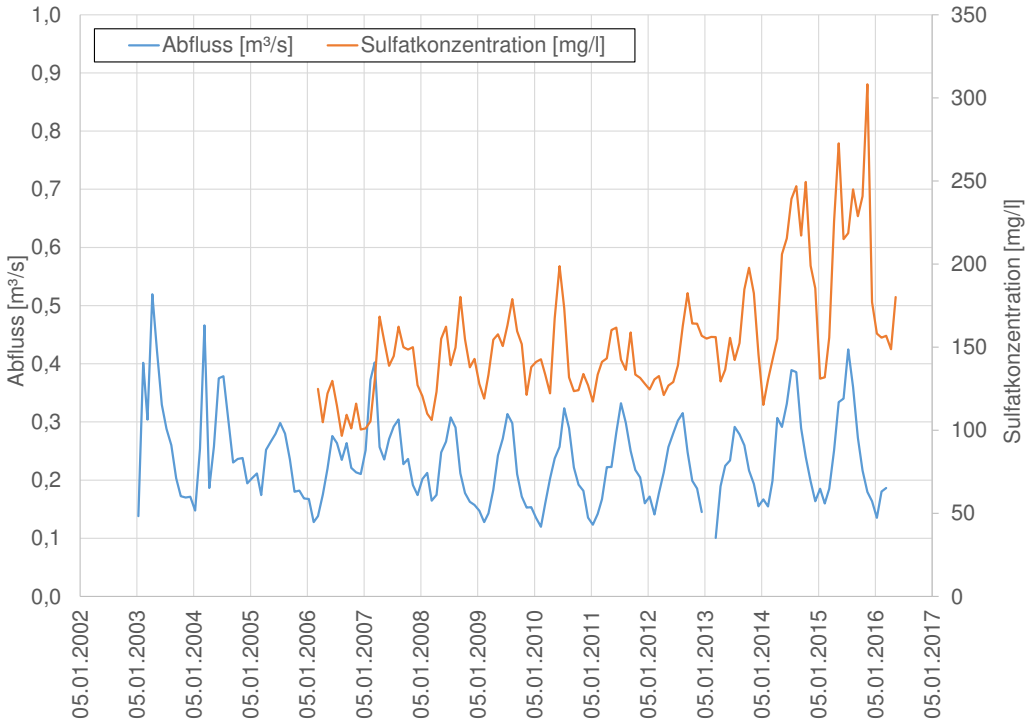


Abbildung 152: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den Emissionsquerschnitt Schleuse Kersdorf/Oder Spree Kanal

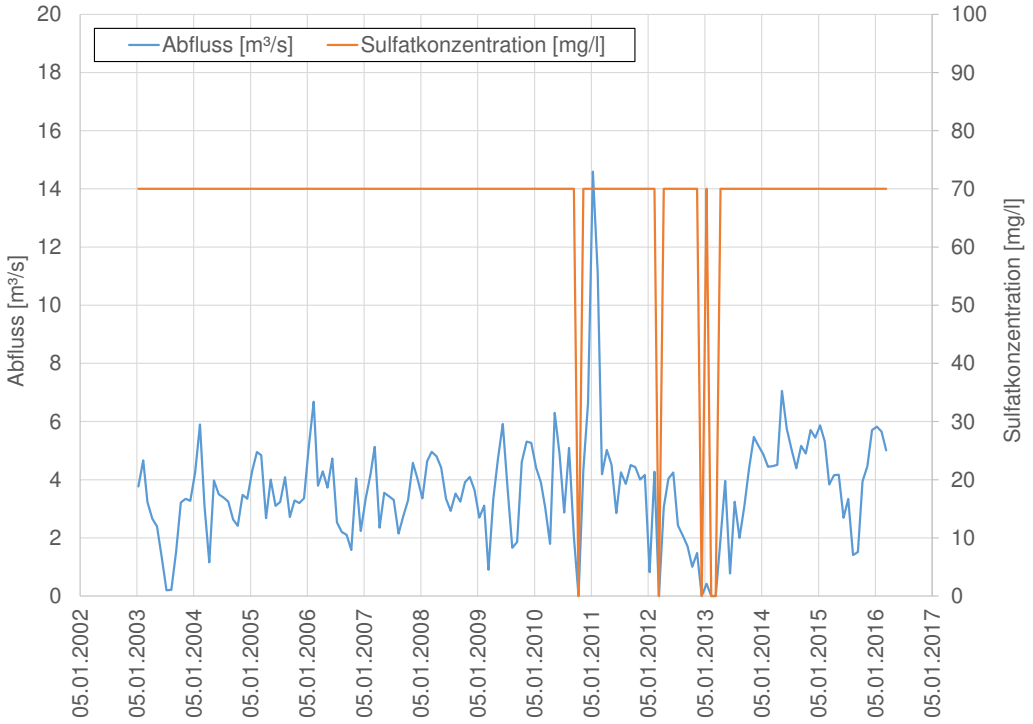


Abbildung 153: Monatsmittelwerte der Sulfatkonzentration in Fürstenwalde und des Durchflusses für das Eigendargebot

Anhand der Abbildung 151 ist zu erkennen, dass ähnlich dem Abschnitt 2.3.3 zwei Bereiche mit unterschiedlichem Verhalten existieren. Das sind etwa die Abschnitte von 2003 bis 2009 und von 2010 bis 2016. Im ersten Abschnitt ist zu beobachten, dass mit

steigendem Abfluss auch die Sulfatkonzentration steigt. Im zweiten Abschnitt ist das gegenteilige Verhalten zu beobachten.

Bei der Schleuse Kersdorf/Oder Spree Kanal ist dagegen das gleichläufige Verhalten von Durchfluss und Sulfatkonzentration zu beobachten. Das ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass bei steigenden Durchflüssen ein bedeutender Anteil des Sulfats über das Pumpwerk Neuhaus in den Oder-Spree-Kanal gelangt.

Beim Eigendargebot des Gewässerabschnittes Beeskow-Große Tränke OP zeigte sich, dass fast über die gesamte Periode ein signifikanter Zuflussanstieg zu verzeichnen ist und somit eine stetige Verdünnung der Sulfatkonzentration erfolgt.

d. Aufbau und Kalibrierung des Sulfattranslationsmoduls WW Rahnsdorf

In einem ersten Schritt wurden die Daten für die Emissionsquerschnitte:

- Beeskow/Spree,
- Schleuse Kersdorf/Oder-Spree-Kanal,
- Eigendargebot Spreewald

und des Ablaufes aus dem Sulfattranslationsmodul

- Große Tränke OP/Spree

als Wochenmittelwerte zusammengestellt. Hierbei wurden der Durchfluss und die Sulfatkonzentration bei den Emissionsquerschnitten und die Sulfatkonzentration im Ablauf verwendet. Aufgrund der Bereiche des unterschiedlichen Abflussverhaltens wurde nicht der gesamte Zeitraum zur Kalibrierung herangezogen, sondern der Zeitraum ab 2010 bis 2016. Der Grund ist, dass das gegenläufige Verhalten der Sulfatkonzentration und des Durchflusses für den gesamten Zeitraum zu einer vergleichsweise schlechten Anpassung der Modelle führen würde. Es wird weiter davon ausgegangen, dass das Verhalten der zweiten Periode plausibel ist und auch in den nächsten Jahren seine Gültigkeit beibehält. Die Tageswerte wurden als Basis für die Berechnung der Wochenmittelwerte und später für die Monatsmittelwerte verwendet. Das Sulfattranslationsmodul für diesen Teil der Spree von Beeskow bis Große Tränke OP wurde auf der Basis von Fracht berechnet. Das Sulfattranslationsmodul berechnet das Verhalten der Sulfatfracht, wobei in der Auswertung auch auf die Sulfatkonzentration zurückgerechnet wurde. Das Gütemaß NSE wurde dabei auf Basis der Sulfatfracht und Sulfatkonzentration berechnet. Die Zeitschritte mit Konzentrationsmessungen wurden in der PEST Optimierung stärker gewichtet.

Der Start der Berechnungen wurde auf Basis von Wochenmittelwerten mit zwei Durchflussbereichen für den Emissionsquerschnitt Beeskow/Spree und einem Durchflussbereich für Schleuse Kersdorf und das Eigendargebot sowie mit drei Parametern der Impulsantwortfunktionen durchgeführt. Der erste Durchflussbereich der Spree beschreibt den Bereich von 0 bis 16,3 m³/s und der zweite Durchflussbereich höhere Abflüsse. Eine größere Anzahl von Durchflussbereichen für das Eigendargebot und die Schleuse Kersdorf hatte keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse und wurde in den Auswertungen nicht weiter berücksichtigt.

Anhand der Ergebnisse war zu erkennen (Tabelle 56, Abbildung 154 und Abbildung 155), dass der Parameter 2 einen geringen und der Parameter 3 fast keinen Einfluss besitzt. Des Weiteren zeigt sich beim Emissionsquerschnitt Beeskow, dass beide Durchflussbereiche praktisch gleiche Werte aufweisen. Aus diesen Gründen wurde in verschiedenen Schritten die Anzahl der Parameter auf 2 reduziert und beim Emissionsquerschnitt Beeskow nur ein Durchflussbereich verwendet. Die Veränderung der Parameteranzahl zeigte beim Gütemaß NSE nur eine geringe Reduzierung der Güte.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 2 ist weiterhin erkennbar, dass in der erste Woche über 90 % des Eingangsimpulses von Beeskow und Schleuse Kersdorf am Auslass wirksam werden und ca. 10 % in der zweiten Woche. Insgesamt gelangt somit die gesamte Sulfatfracht von den beiden Emissionsquerschnitten zum Aussagequerschnitt. Beim Eigendargebot zeigt sich aber, dass es im Sulfattranslationsmodul WW Rahnsdorf zu einer Zunahme der Sulfatfracht kommt, deren Quellen aktuell noch nicht verortet werden konnten. Um die Zunahme aber zu berücksichtigen, wurden die Parameter der Impulsantwortfunktion für das Eigendargebot entsprechend angepasst. Im Ergebnis wird damit eine Verdreifachung der Hintergrundbelastung angesetzt.

Tabelle 56: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls Rahnsdorf und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Wochenmittelwerten

Variante	Durchflussbereiche Hauptfluss/Nebenfluss/Eigendargebot	Anzahl der Parameter	NSE Fracht [-]	NSE Konzen-tration [-]
1	2/1/1	3	0,971	0,921
2	1/1/1	3	0,957	0,867

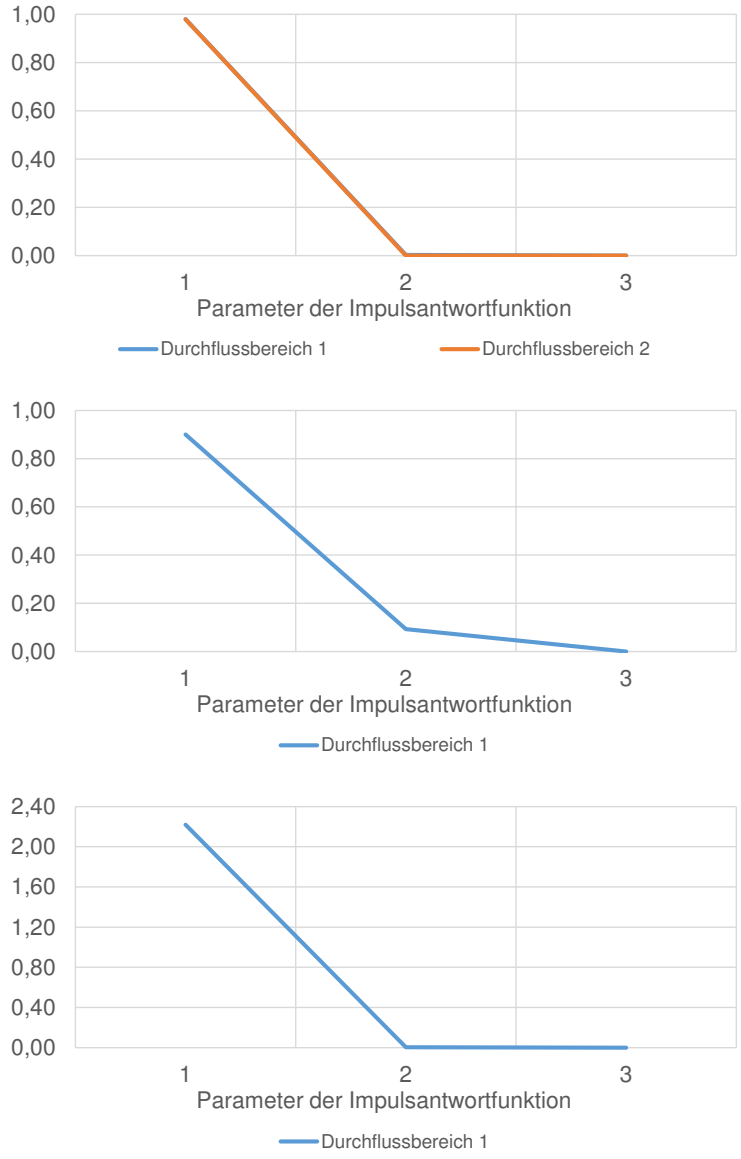


Abbildung 154: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche für Beeskow mit Wochenmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten)

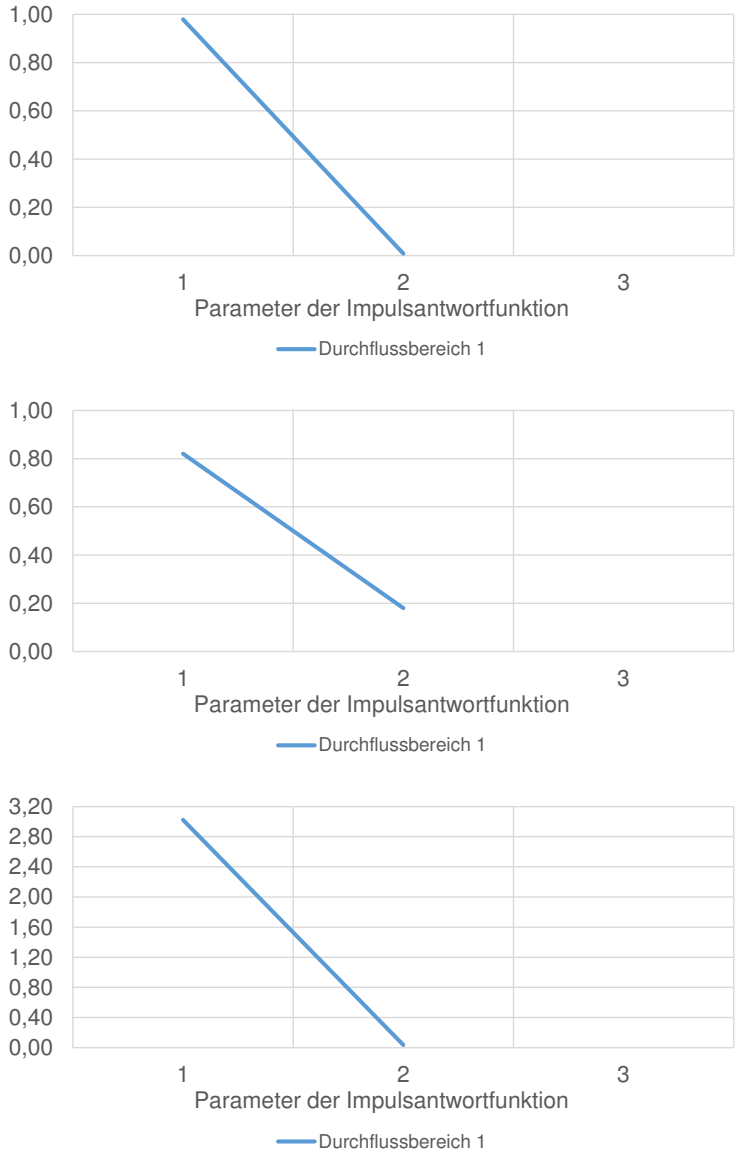


Abbildung 155: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Wochenmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten)

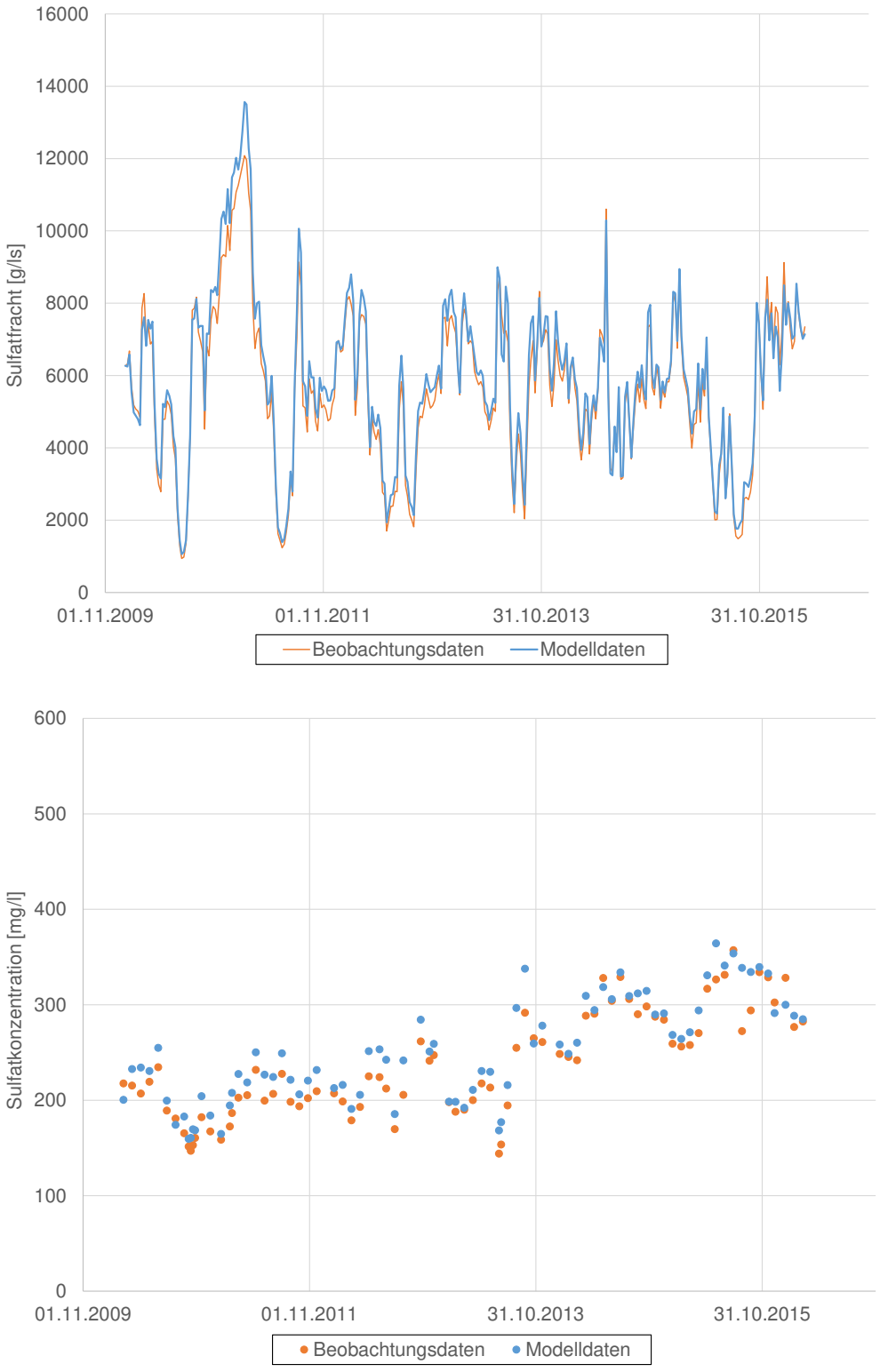


Abbildung 156: Beobachtete und modellierte Sulfatfracht (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Wochenmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 2 aus Tabelle 56

In Abbildung 156 sind die beobachtete und modellierte Sulfatfracht als Wochenmittelwerte in Große Tränke OP für die Variante 2 aus Tabelle 56 dargestellt. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatfrachten gut getroffen werden. Die Sulfatkonzentrationen wurden aus der Sulfatfracht zurückgerechnet. Bei der Auswertung

wurden abweichend zur Sulfatfracht die Terminwerte der Sulfatkonzentrationsmessungen verwendet. Das Gütemaß NSE (Tabelle 56) zeigt gute Ergebnisse.

Im nächsten Schritt wurden die Untersuchungen für Monatsmittelwerte durchgeführt.

Die Berechnung wurde mit zwei Durchflussbereichen für den Emissionsquerschnitt Beeskow/Spree und einem Durchflussbereich für Schleuse Kersdorf und dem Eigendargebot sowie drei Parametern der Impulsantwortfunktionen durchgeführt. Der erste Durchflussbereich der Spree beschreibt den Bereich von 0 bis 15 m³/s und der zweite Durchflussbereich höhere Abflüsse. Eine größere Anzahl von Durchflussbereichen für das Eigendargebot und die Schleuse Kersdorf hat keinen wesentlichen Einfluss auf die Ergebnisse und wurde in den Auswertungen nicht weiter berücksichtigt.

Anhand der Ergebnisse war zu erkennen (Tabelle 57, Abbildung 157 und Abbildung 158), dass der Parameter 2 einen geringen und der Parameter 3 fast keinen Einfluss besitzt. Des Weiteren zeigt sich beim Emissionsquerschnitt Beeskow, dass beide Durchflussbereiche praktisch gleiche Werte aufweisen. Aus diesen Gründen wurde in verschiedenen Schritten die Anzahl der Parameter auf 2 reduziert und beim Emissionsquerschnitt Beeskow nur ein Durchflussbereich verwendet. Die Veränderung der Parameteranzahl zeigte beim Gütemaß NSE nur eine geringe Reduzierung der Güte.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 2 ist weiterhin erkennbar, dass im ersten Monat über 95 % des Eingangsimpulses von Beeskow und Schleuse Kersdorf am Auslass wirksam werden und ca. 5 % im zweiten Monat. Insgesamt gelangt somit die gesamte Sulfatfracht von den beiden Emissionsquerschnitten zum Aussagequerschnitt. Beim Eigendargebot zeigt sich aber, dass es im Sulfattranslationsmodul WW Rahnsdorf zu einer Zunahme der Sulfatfracht kommt, deren Quellen aktuell noch nicht verortet werden konnten. Um die Zunahme aber zu berücksichtigen, wurden die Parameter der Impulsantwortfunktion für das Eigendargebot entsprechend angepasst. Im Ergebnis wird damit eine Verdopplung der Hintergrundbelastung angesetzt.

Tabelle 57: Übersicht der Varianten des Sulfattranslationsmoduls Rahnsdorf und Darstellung des Gütemaßes NSE auf Basis von Monatsmittelwerten

Variante	Durchflussbereiche Hauptfluss/Nebenfluss/Eigendargebot	Anzahl der Parameter	NSE Fracht [-]	NSE Konzentration [-]
1	2/1/1	3	0,970	0,875
2	1/1/1	2	0,964	0,848
3	1/1/1	2	0,954	0,803

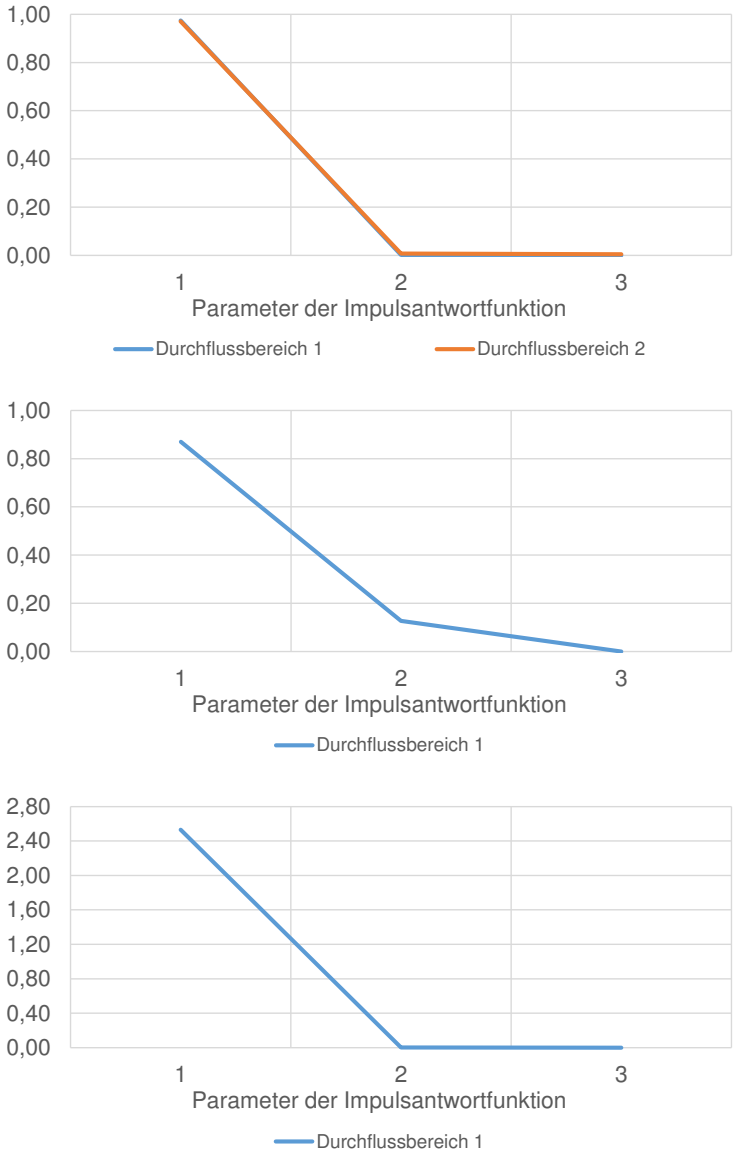


Abbildung 157: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 3 Parameter und zwei Durchflussbereiche für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten)

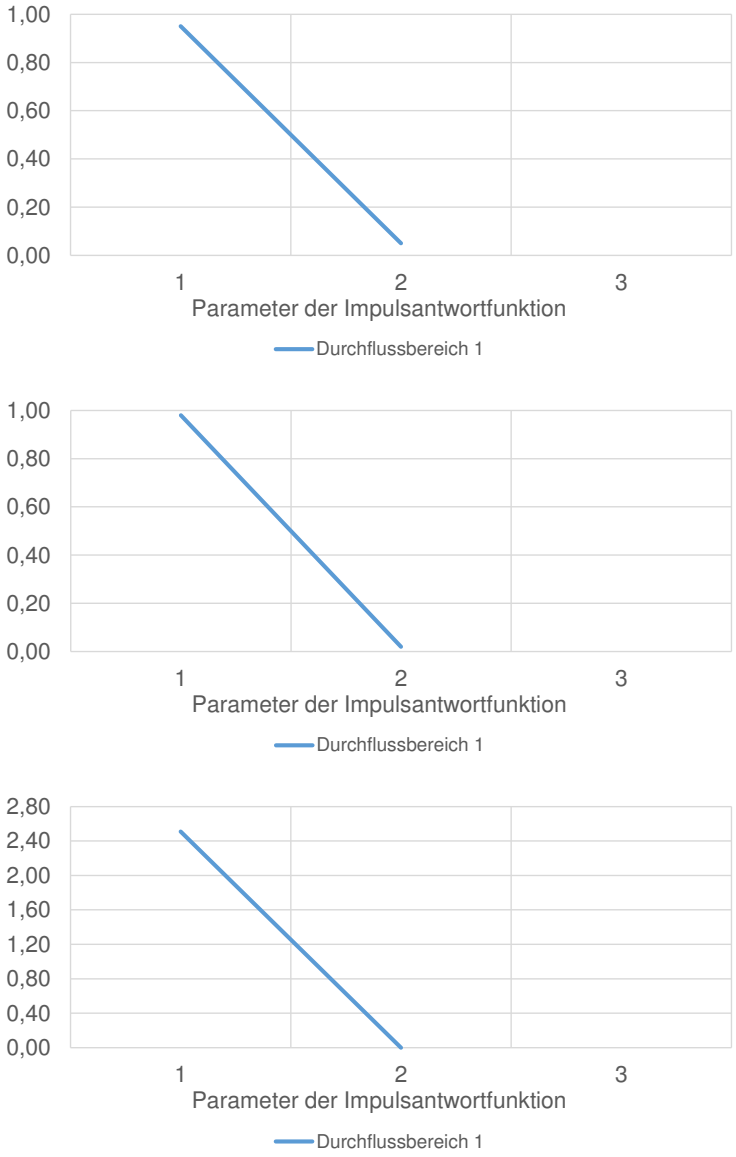


Abbildung 158: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 2 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten)

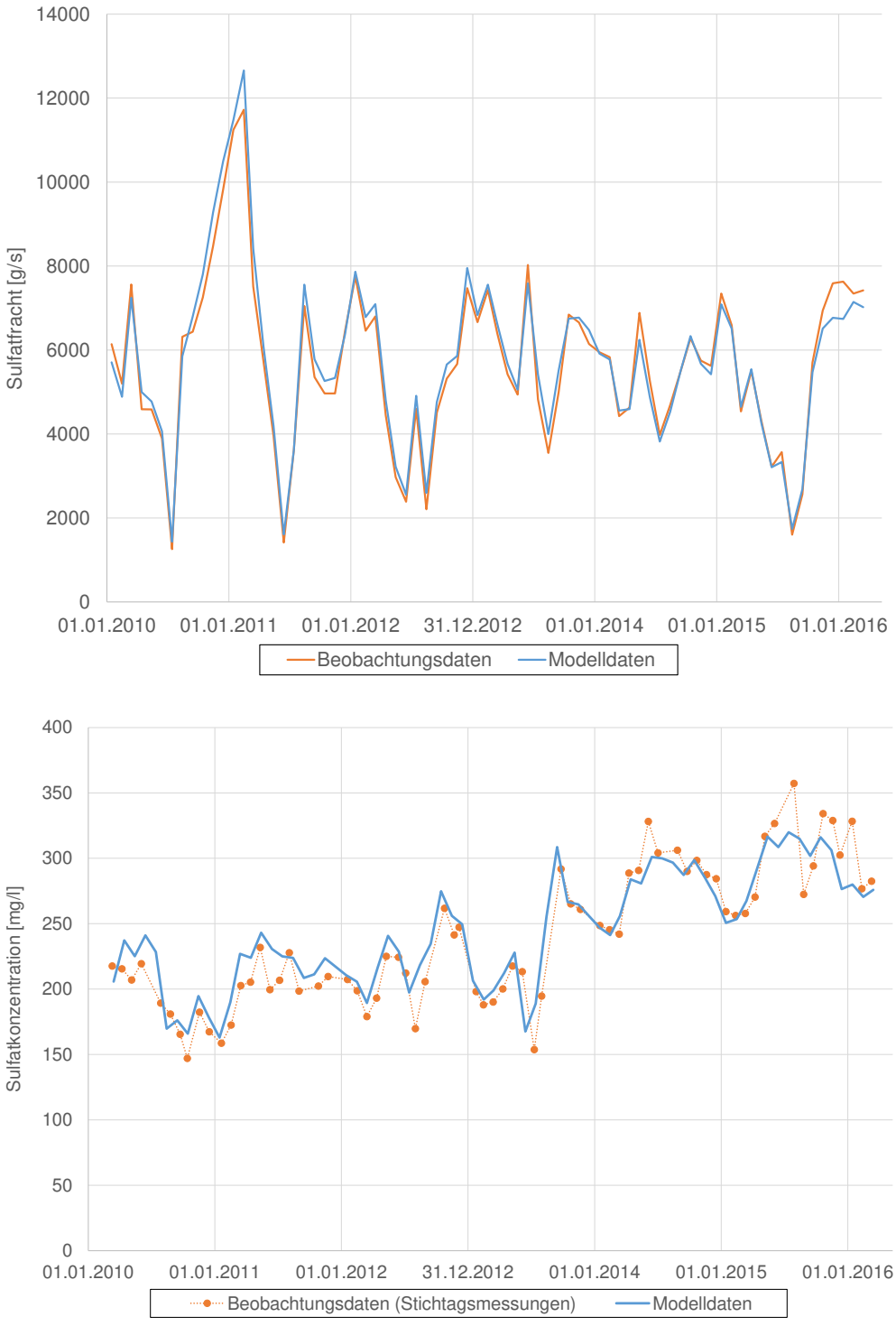


Abbildung 159: Beobachtete und modellierte Sulfatfrachten (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 2 aus Tabelle 57

In Abbildung 159 sind die beobachteten und modellierten Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte in Große Tränke OP für die Variante 2 aus Tabelle 57 dargestellt. Man erkennt, dass die hohen und die niedrigen Sulfatkonzentrationen gut getroffen werden. Die Sulfatkonzentrationen wurden aus der Sulfatfracht zurückgerechnet. Bei der Auswertung wurden abweichend zur Sulfatfracht die Terminwerte der

Sulfatkonzentrationsmessungen verwendet. Das Gütemaß NSE (Tabelle 57) zeigt gute Ergebnisse.

Die Parameter der Impulsantwort für die Variante 2 aus Tabelle 57 sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 58: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf der Variante 2 für Monatsmittelwerte

Emissionsquerschnitt	Durchflussbereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter 1	Parameter 2
Zufluss Beeskow	0,00	0,9500	0,0500
Schleuse Kersdorf	0,00	0,9800	0,0200
Eigendargebot	0,00	2,4510	0,0001

In der Beratung am 11.11.2016 wurde geäußert, dass der erhöhte diffuse Sulfateintrag durch entsprechende Hintergrundbelastungen zu verifizieren ist. In diesem Zuge wurden vom LfU Sulfatkonzentrationen von Grundwassermessstellen übergeben, die entsprechend ausgewertet wurden. In Abbildung 160 sind die Sulfatkonzentrationen von Grundwassermessstellen enthalten.

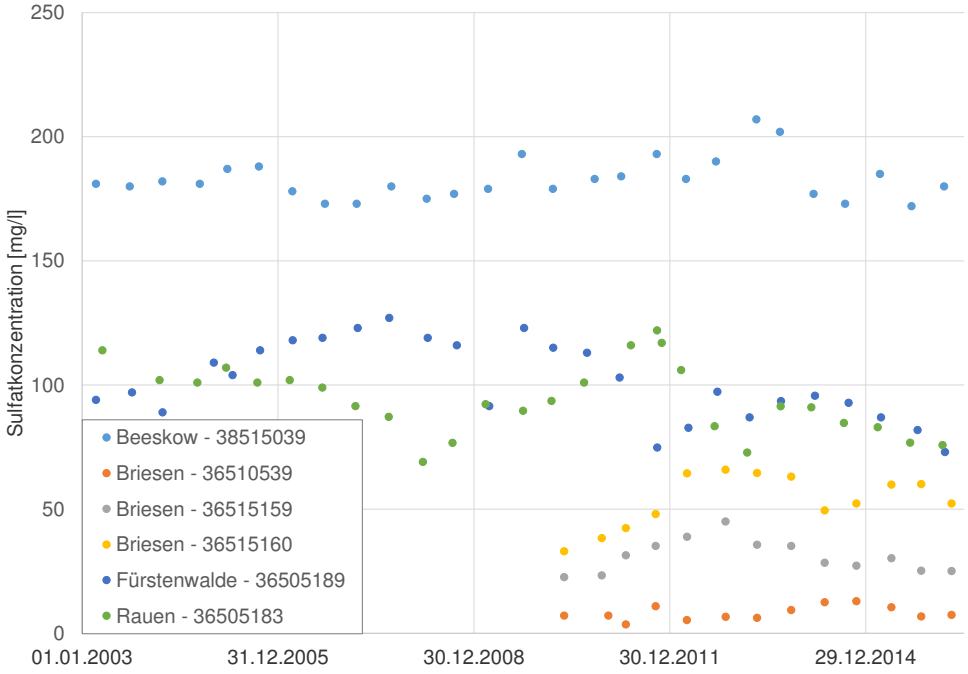


Abbildung 160: Sulfatkonzentrationen von Grundwassermessstellen im Bereich zwischen Beeskow und Große Tränke

Anhand der Abbildung ist zu erkennen, dass in diesem Bereich sehr unterschiedliche Hintergrundbelastungen auftreten können. Im Oberlauf (Beeskow) werden vergleichsweise hohe Sulfatkonzentrationen von durchschnittlich 180 mg/l gemessen. Im Bereich von Briesen liegen die Sulfatkonzentrationen zwischen 10 und 50 mg/l und steigen bei Fürstenwalde auf ca. 100 mg/l an. Im Mittel würde dies etwa der durchschnittlichen Hintergrundbelastung von 70 mg/l entsprechen. Da aber davon auszugehen ist, dass eine Quelle mit signifikant höheren Sulfatkonzentrationen im

Einzugsgebiet liegen muss, wurde für eine abschließende Untersuchung die mittlere Sulfatkonzentrationen von Beeskow (183 mg/l) für das Eigendargebot angesetzt.

Anhand der Ergebnisse der Variante 3 war zu erkennen (Tabelle 57 und Abbildung 161), dass die Verwendung einer höheren Hintergrundbelastung der Sulfatkonzentration nur geringe Auswirkungen auf die Güte des Translationsmodells besitzt.

An den Parametern der Impulsantwortfunktionen der Variante 3 sind an den Emissionsquerschnitten Beeskow und Schleuse Kersdorf keine Änderungen im Vergleich zur Variante 2 aufgetreten. Beim Eigendargebot zeigt sich aber, dass nun der Eingangsimpuls zu etwa 100 % im ersten Zeitschritt am Aussagequerschnitt Rahnsdorf wirksam wird. Somit kommt es bei dieser Variante zu keiner Zunahme der Sulfatfracht.

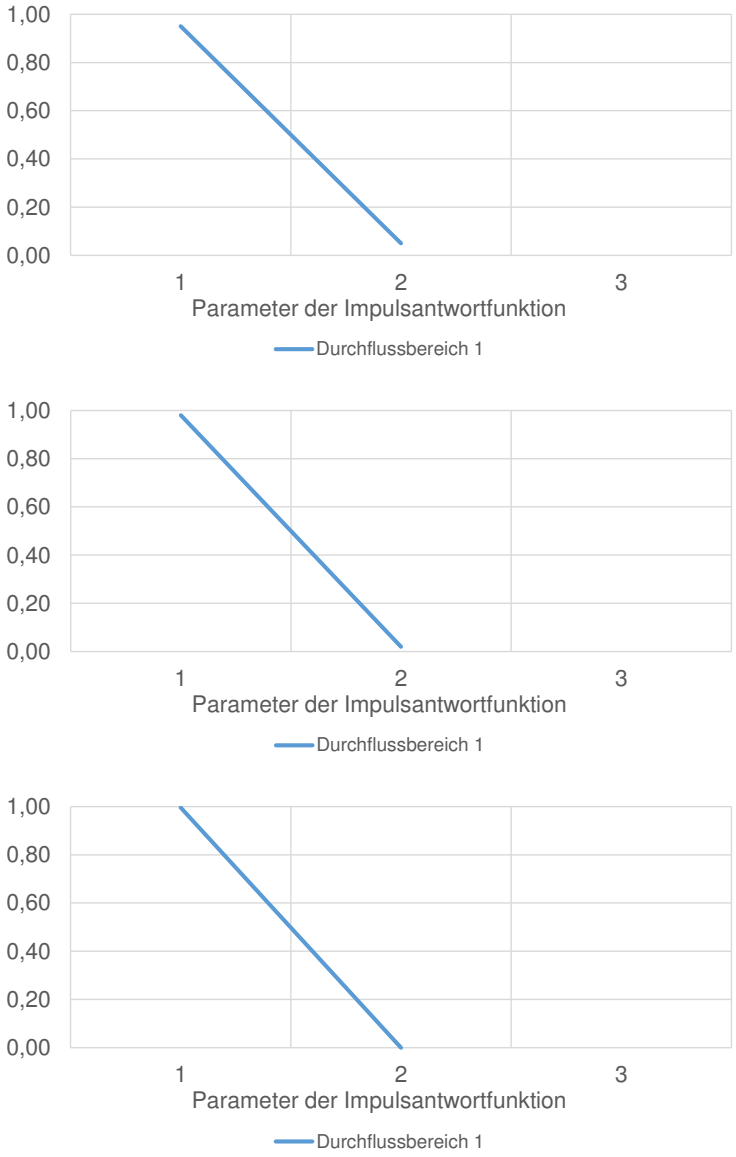


Abbildung 161: Darstellung der Parameterwerte der Impulsantwortfunktionen für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für 2 Parameter und einem Durchflussbereich für Beeskow mit Monatsmittelwerten (Hauptzufluss - oben, Schleuse Kersdorf – Mitte, Eigendargebot – unten) der Variante 3 aus Tabelle 57

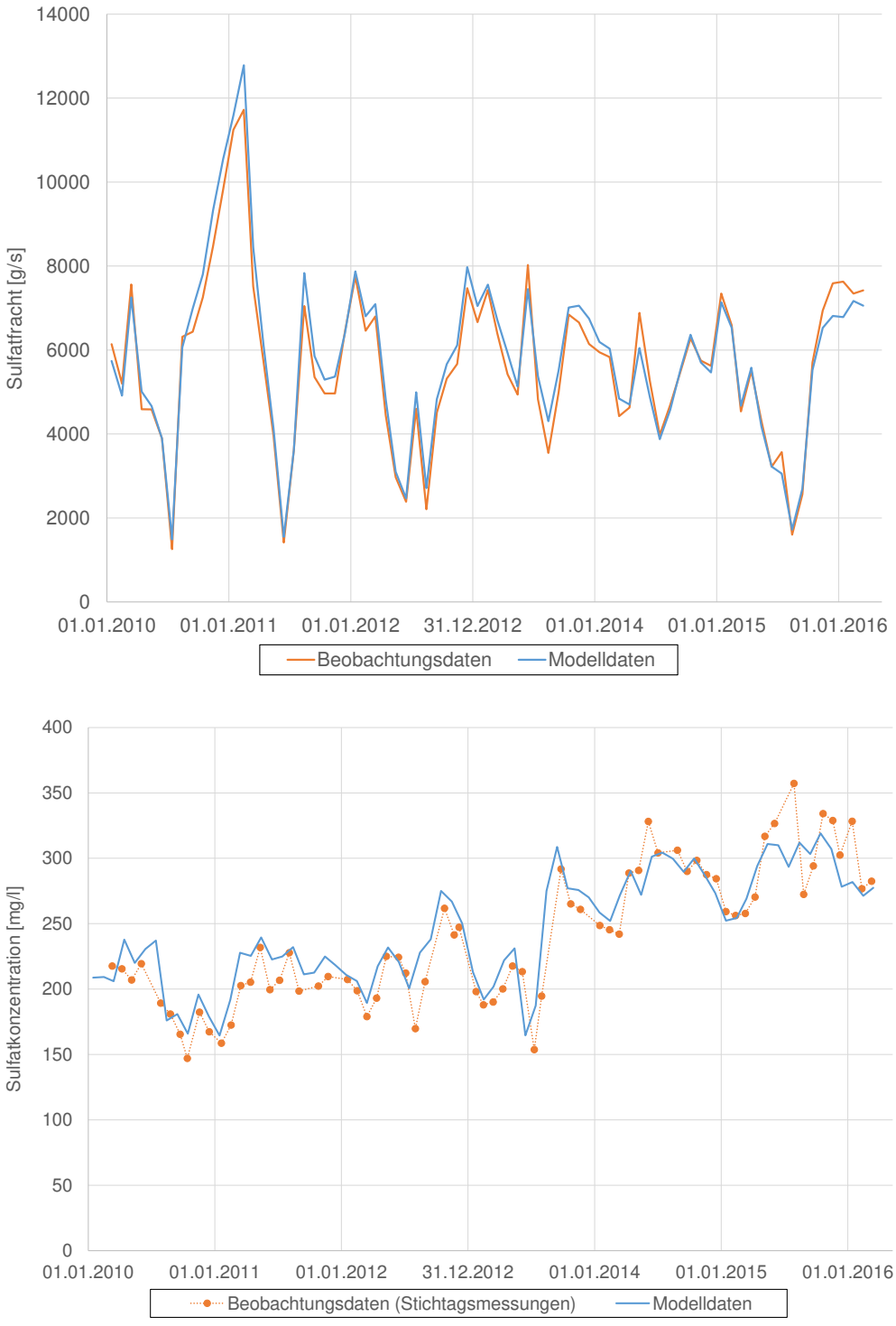


Abbildung 162: Beobachtete und modellierte Sulfatfrachten (oben) und Sulfatkonzentrationen (unten) als Monatsmittelwerte für Große Tränke OP mit der Variante 3 aus Tabelle 57

In Abbildung 162 sind die beobachteten und modellierten Sulfatkonzentrationen als Monatsmittelwerte in Große Tränke OP für die Variante 3 aus Tabelle 57 dargestellt. Die Ergebnisse sind mit denen der Variante 2 vergleichbar und weisen ähnlich hohe Gütemaße (Tabelle 57) auf.

Die Parameter der Impulsantwort für die Variante 3 aus Tabelle 57 sind in der folgenden Tabelle enthalten.

Tabelle 59: Parameter der Impulsantwort der Variante 3 für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf für Monatsmittelwerte

Emissionsquerschnitt	Durchflussbereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter 1	Parameter 2
Zufluss Beeskow	0,00	0,9500	0,0500
Schleuse Kersdorf	0,00	0,9800	0,0200
Eigendargebot	0,00	0,9963	0,0001

Die Ergebnisse der Variante 2 und 3 aus Tabelle 57 zeigen in der Güte der Modelle und bei den modellierten Sulfatfrachten bzw. Sulfatkonzentrationen nur geringe Unterschiede. Der Hauptunterschied ist die Sulfatkonzentration des Eigendargebots. Die Variante 3 mit einer Hintergrundbelastung von 183 mg/l zeigt plausible Ergebnisse und erfasst alle Sulfatquellen beim Eigendargebot. Die Tatsache, dass aber nur eine Messstelle diese Sulfatkonzentration aufweist und die anderen Grundwassermessstellen deutlich geringere Sulfatkonzentrationen aufweisen (siehe Abbildung 160), zeigt aber, dass nicht alle diffusen Quellen im Bereich des Translationsmoduls Rahnsdorf gefunden wurden.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen wird empfohlen, die Variante 3 für das Sulfattranslationsmodul Rahnsdorf zu verwenden.

2.4 Sulfatsteuerungsmodule

Mit dem Vorliegen der Sulfateintragsmodule und der Sulfattranslationsmodule kann das Sulfatprognosemodell die Sulfatkonzentration an den Aussagequerschnitten

- Spremberg-Wilhelmsthal,
- Bräsinchen,
- Leibsch UP,
- WW Briesen und
- Rahnsdorf

berechnen. Auf dieser Grundlage kann nun zielgerichtet die Bewirtschaftung der Wasserressourcen gestaltet werden, um

- einerseits die mengenwirtschaftlichen Erfordernisse im Rahmen der Sulfat-Immissionszielwerte an den Steuerquerschnitten zu realisieren und
- andererseits die Sulfat-Immissionszielwerte mit Hilfe der verfügbaren Wasserressourcen einzuhalten.

Die Einhaltung der Immissionszielwerte ist für folgende Aufgaben der Wasserbewirtschaftung im Spree/Schwarze-Elster-Gebiet relevant:

- Ausgleich der Sulfatbelastung aus den ungesteuerten Einträgen, aus der natürlichen Hintergrundbelastung sowie den Einleitungen aus GWBA und TRG,
- Begrenzung der Abgaben für die Wasserbereitstellung aus den Talsperren und Speichern, insbesondere dem Speichersystem Lohsa II und Bärwalde für Brandenburg und Berlin, sowie die Wasserbereitstellung aus der NÜL,

- Sicherung der Abgaben aus den Talsperren und Speichern durch an ihre Sulfatemissionen angepasste Umschichtung ihrer Belastung,
- Spülung des WSS Lohsa II aus der Spree und Kleinen Spree,
- Steuerung des Sulfatrückhaltes in dafür vorgesehenen TRG (Schlabendorfer See, Cottbuser See).

Das Prinzip der Sulfatsteuerungsmodule zeigt die folgende Abbildung 163.

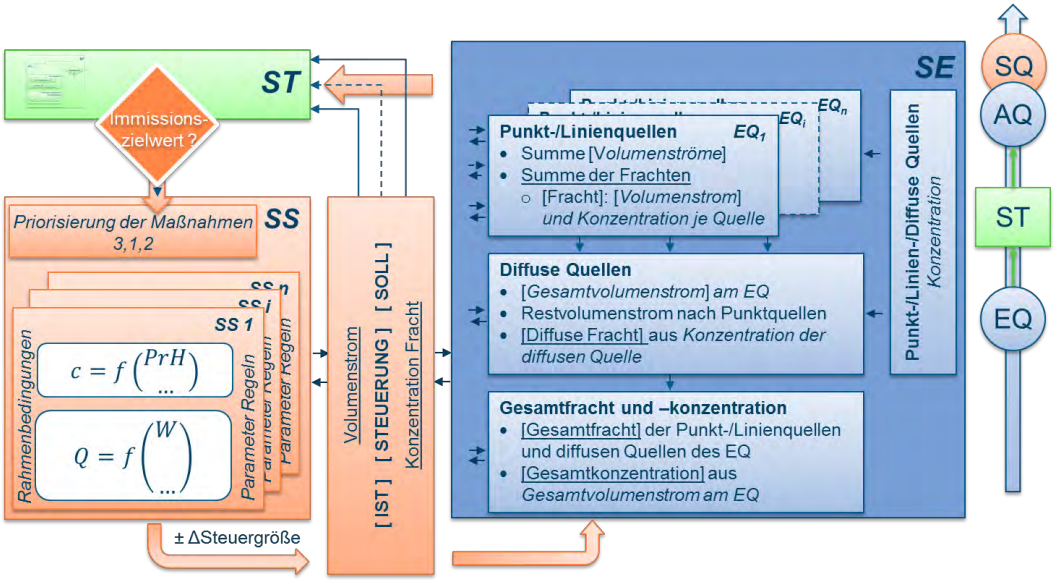


Abbildung 163: Prinzip der Sulfatsteuerung

Das Sulfatsteuerungsmodul hält eine von der wasserwirtschaftlichen Bilanzierung unabhängige Datenbasis für die Volumenströme, berechnete Sulfatkonzentrationen und für daraus resultierende Frachten vor. Diese Daten werden bezogen auf Modellobjekte gespeichert:

- Bilanzprofile (Emissionsquerschnitte und Aussagequerschnitte),
- Nutzer (Ein- und Ausleitungen, Pumpwerke, Wehre, Schleusen)
- Speicher.

Für die technische Umsetzung wurden erweiterte Systemvariablen des WBalMo genutzt.

Diese Datenbasis hält die genannten Variablen getrennt für den bilanzierten Zustand („IST“), die aktuell berechnete Steuerungsvariante („STEUERUNG“) und evtl. Zielgrößen („SOLL“) vor. Damit kann die Bilanzierung jederzeit unterbrochen werden, um davon unabhängig die Wasserbewirtschaftung zu optimieren - in Hinblick auf Immissionszielwerte zu begrenzen oder die Wasserbewirtschaftung für ihre Einhaltung einzusetzen. Die berechneten Adaptionen befinden sich dann in den Variablen der STEUERUNG und werden in der nachfolgenden Bilanzierung umgesetzt, sowie die IST-Werte aktualisiert.

Die Sulfatsteuerungsmodule enthalten darüber hinaus Teilmodule SS 1 bis n, die die Parameter derjenigen Sulfateintragsmodule verändern können, die dafür die Voraussetzungen bieten. Die Teil-Sulfatsteuerungsmodule enthalten für diese Sulfatquellen auch die Rahmenbedingungen und Regeln wie Kapazitäten oder Mindestinhalte.

Mit Hilfe der Variablen der STEUERUNG werden durch die Teil-Sulfatsteuerungsmodule die Parameter der ihnen zugeordneten Sulfateintragsmodule solange verändert, bis der Immissionszielwert am Steuerquerschnitt unterschritten wird oder für den betreffenden

Sulfateintragsmodul alle Parameter an die festgelegten Grenzen geführt wurden. Im letzteren Fall wird auf den nächsten Sulfateintragsmodul umgeschaltet. Dies wird fortgeführt bis der Immissionszielwert unterschritten wird oder alle steuerbaren Sulfateintragsmodule ausgenutzt wurden. Die Reihenfolge der Anwendung der einzelnen Teil-Sulfatsteuerungsmodule sowie die Werte und Grenzen der wichtigsten Steuerparameter der Sulfateintragsmodule kann durch Anpassungen des Anwenders vorgegeben werden, ohne dass Modelländerungen erforderlich wären. So können die Rangfolge der Anwendung von Steueroptionen variiert werden.

Im Folgenden werden die Sulfatsteuerungsmodule und ihre Teil-Module im Detail beschrieben.

2.4.1 Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal

Die Elemente des Sulfatsteuerungsmoduls Spremberg-Wilhelmsthal zeigt Abbildung 164.

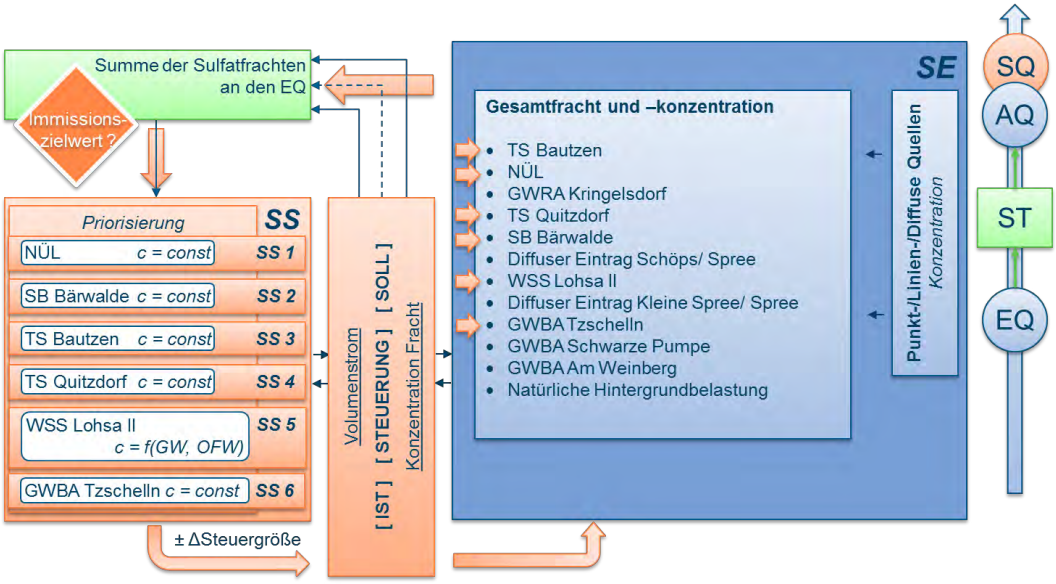


Abbildung 164: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul Spremberg-Wilhelmsthal

Die Sulfatkonzentration am Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal wird aus der Summe der Sulfatfrachten aller Emissionsquerschnitte und dem Durchfluss berechnet. Für den Steuerquerschnitt wird ein Immissionszielwert vorgegeben. Die Differenz zwischen der aktuellen Sulfatkonzentration und dem Immissionszielwert kann durch die Optionen:

- Neißeüberleitung NÜL,
- Abgaben aus dem SB Bärwalde,
- Abgaben aus der TS Bautzen,
- Abgaben aus der TS Quitzdorf und
- Abgaben aus dem WSS Lohsa II

verändert werden. Dies erfolgt durch die Anpassung der Frachten so, dass der Immissionszielwert erreicht bzw. unterschritten wird. Für die Sulfatkonzentration am Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal sind daher die Volumenströme die Steuergrößen. Für das WSS Lohsa II erfolgt dabei eine Aktualisierung der Sulfatkonzentration am Abgabequerschnitt in Abhängigkeit von den Veränderungen durch die Steuerung.

Je nach Bewirtschaftungsaufgabe wird das Erreichen des Immissionszielwertes unterschiedlich gehandhabt:

- Für den Ausgleich der Sulfatbelastung aus den ungesteuerten Einträgen, aus der natürlichen Hintergrundbelastung sowie den Einleitungen aus GWBA und TRG werden die Abgaben unter Nutzung der durch den Anwender festgelegten Optionen erhöht, bis der Immissionszielwert eingehalten wird.
- Für die Begrenzung der Abgaben aus mengenwirtschaftlicher Sicht wird ihr maximal möglicher Umfang so berechnet, dass gerade noch der Immissionszielwert eingehalten wird.
- Ergibt sich entsprechend des mengenwirtschaftlichen Bedarfs und der festgelegten Belastung der einzelnen Talsperren und Speicher dennoch eine Überschreitung des Immissionszielwertes, dann erfolgt eine Umschichtung der Abgaben, bis der Immissionszielwert eingehalten wird.
- Für die Spülung der SB Lohsa II und Burghammer wird die Einhaltung des Immissionszielwertes gewährleistet.

In den Ablauf der Steuerung für die genannten Bewirtschaftungsaufgaben kann der Anwender eingreifen, indem die zu verwendenden Steueroptionen als Zahlenfolge in einen WBalMo-Vorgabewert eingegeben werden. Dabei hat jede Option eine feste Position in der Ziffernfolge. Die Ziffer 0 heißt: keine Anwendung, alle anderen Ziffern geben den Rang wieder, der dieser Option in Bezug auf die anderen Optionen zugeordnet wurde. Die Steuerung wird mit der Option begonnen, die Rang 1 aufweist.

2.4.2 Sulfatsteuerungsmodul Leibsch

Die Elemente des Sulfatsteuerungsmoduls Leibsch zeigt Abbildung 165.

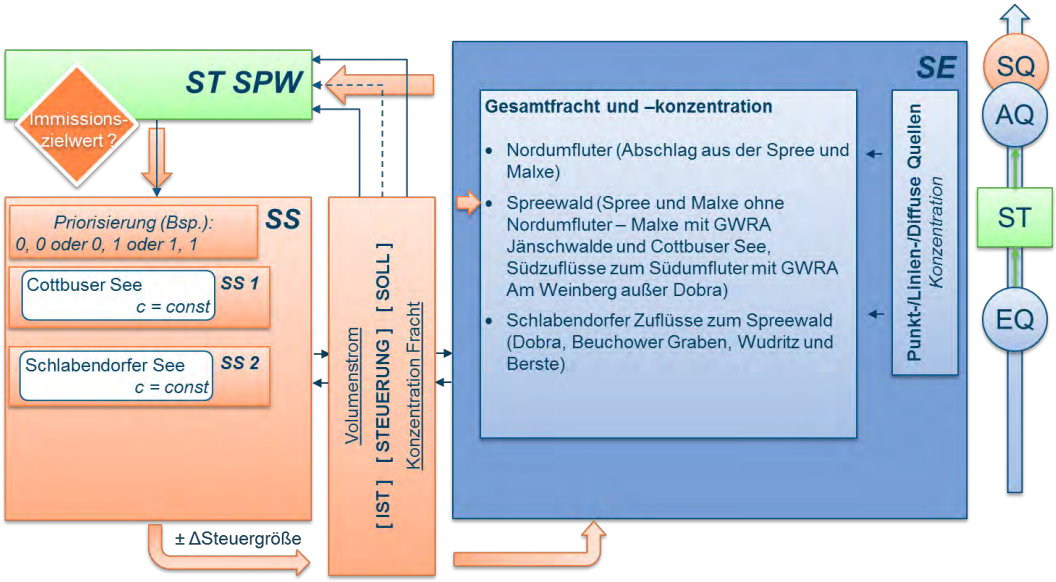


Abbildung 165: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul Leibsch

Die Sulfatkonzentration am Steuerquerschnitt Leibsch wird durch das Sulfattranslationsmodul Spreewald berechnet. Dabei gehen die im rechten Teil der Abbildung 165 gezeigten Emissionsquerschnitte ein. Die sich daraus ergebende Gesamtfracht bezieht sich auf Leibsch OP/Spree, dessen Durchfluss zur Berechnung der Sulfatkonzentration herangezogen wird.

Die Sulfatkonzentration am Steuerquerschnitt kann durch den Umfang der Sulfatfrachten aus dem Cottbuser bzw. Schlabendorfer See beeinflusst werden. Dazu werden bei

Unterschreitung des Immissionszielwertes Abgaben ermöglicht, ansonsten werden Abgaben reduziert. Für die Abgaben werden Mindestabgaben wegen der Eisenproblematik im Schlabendorfer See sowie wegen der Fischaufstiegsanlage am Cottbuser See einbezogen. Die entsprechenden Mindestabgaben können durch den Anwender verändert werden. In gleicher Weise werden die Kapazitäten der Ableiter, Vorfluter und Pumpwerke (Schlabendorfer See) berücksichtigt. Dabei wird die Abhängigkeit vom Wasserstand berücksichtigt. Die entsprechenden Leistungskurven sind allerdings Teil des Modells und nur bei Vorhandensein einer Softwareentwicklungsumgebung durch den Anwender modifizierbar.

Die Priorisierung und Einbeziehung dieser Optionen kann ebenfalls durch Vorgaben des Anwenders variiert werden. Weitere Details enthält Abschnitt 1.3.1. Die Wirkung der einzelnen Optionen wurde in den Untersuchungen zur Plausibilität des Sulfatprognosemodells in Abschnitt 4.3.2 und 5.2 (vgl. Tabelle 74 und Tabelle 75) gemeinsam mit anderen Optionen der definierten Szenarien quantifiziert.

Gegenwärtig liegt noch keine Regel für eine sulfatorientierte Steuerung des Abschlags in den Nordumfluter vor (siehe Abschnitt 1.3.1), so dass diese im Sulfattranslationsmodul unverändert erfolgt. Dadurch ist eine Steuerung nicht wirksam.

2.4.3 Sulfatsteuerungsmodul WW Briesen

Die Elemente des Sulfatsteuerungsmoduls WW Briesen zeigt Abbildung 166.

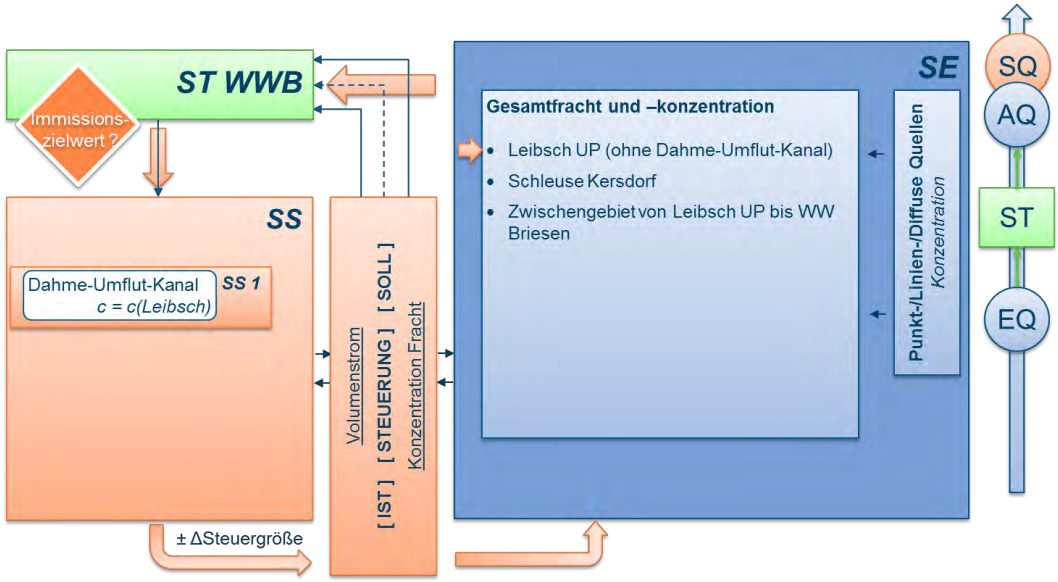


Abbildung 166: Überblick über das Sulfatsteuerungsmodul WW Briesen

Die Sulfatkonzentration am Steuerquerschnitt WW Briesen kann nur durch den Abschlag eines Teils der Sulfatfracht über den Dahme-Umflut-Kanal beeinflusst werden. Über die Wehrbeziehung für den Abschlag wird zunächst ermittelt, um welche Menge der Durchfluss am Pegel Leibsch UP entsprechend dem Zufluss vom Oberpegel reduziert wird. Daraus ergeben sich mit dem Sulfattranslationsmodul WW Briesen die Sulfatkonzentration und die Abweichung zum Immissionszielwert für diesen Querschnitt.

Gegenwärtig liegt noch keine Regel für eine von der Wehrformel abweichende Steuerung des Abschlags in den Dahme-Umflut-Kanal vor (siehe Abschnitt 1.3.3), so dass dieser Sulfatsteuerungsmodul noch nicht wirksam ist.

2.5 Integration der Sulfatmodule in das WBalMo Spree/Schwarze Elster

Die Integration der Sulfatmodule gliedert sich in die

- Integration der Datenbasis für Sulfateintrag, Sulfattranslation und Sulfatsteuerung sowie die Ergebnisindikatoren,
- Integration der Algorithmen für die Sulfateintragsmodule, Sulfattranslationsmodule und Sulfatsteuerungsmodule.

Für die Integration der Datenbasis werden die erweiterten Systemvariablen des WBalMo genutzt. Mit ihrer Hilfe lassen sich für alle Modellobjekte beliebige Zustandsgrößen definieren, die dann über die Kennzahl des Objektes programmatisch nutzbar sind. Damit sind sie auch eine Vorbedingung für die Integration der Algorithmen.

Die nachfolgende Abbildung 167 zeigt die Umsetzung im WBalMo.

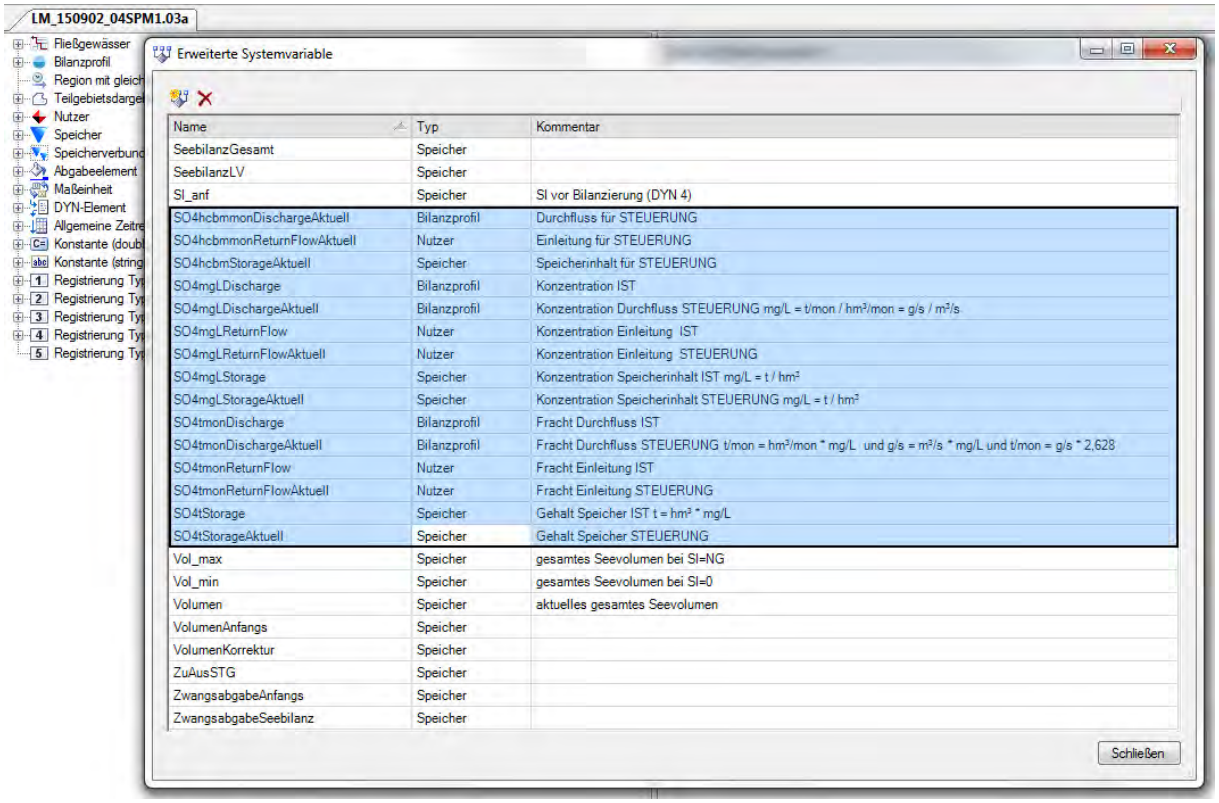


Abbildung 167: Umsetzung der Sulfatzustandsgrößen im WBalMo

Dabei sind die in Abschnitt 2.4 beschriebenen Zustandsgrößen für die Volumenströme (Durchfluss an Emissionsquerschnitten für Punkt- und diffuse Quellen), Sulfatkonzentrationen und Frachten (an Emissionsquerschnitten sowie für Speicher) sowohl für den Modellzustand „Steuerung“ als auch „Ist“ gezeigt. Die Immissionszielwerte („Soll“) werden getrennt in WBalMo-Nutzervariablen abgelegt, um ihre Änderung durch den Anwender ohne Modelländerungen zu ermöglichen.

Die programmatische Umsetzung der Integration der Algorithmen für die Sulfateintragsmodule, Sulfattranslationsmodule und Sulfatsteuerungsmodule erfolgt in den sogenannten DYN-Elementen (vgl. Abschnitt 1.1.2). Diese sind Bestandteil des WBalMo Spree/Schwarze Elster und sind Bestandteil der Variante WBalMo LM150902_SPM1.04.

3 Ergebnisauswertung

3.1 Fragmentierung der Ergebniszeitreihen

Das WBalMo-Sulfatprognosemodell erzeugt Monatswerte der Sulfatkonzentration. Die Erfassung und Bewertung ihrer beobachteten Werte erfolgt jedoch für momentane Situationen, durch kontinuierliche (Tageswerte) oder durch Stichtagsmessungen. Deshalb soll für die monatlichen Sulfatkonzentrationen ermittelt werden, in welchem Bereich kurzzeitige Schwankungen zu erwarten sind. Dafür wurde die Fragmentierung als Methode gewählt.

3.1.1 Methodik

Die Fragmentmethode beruht auf der Renormierung geeigneter Ganglinienabschnitte des kleineren Zeitschritts auf den Mittelwert des größeren. Die normierten Ganglinienabschnitte werden aus beobachteten Reihen gewonnen. Die Mittelwerte des größeren Zeitschritts sind im Allgemeinen Modellergebnisse. Dieses Prinzip veranschaulicht Abbildung 168 anhand der Erzeugung von Monatswerten aus Jahreswerten.

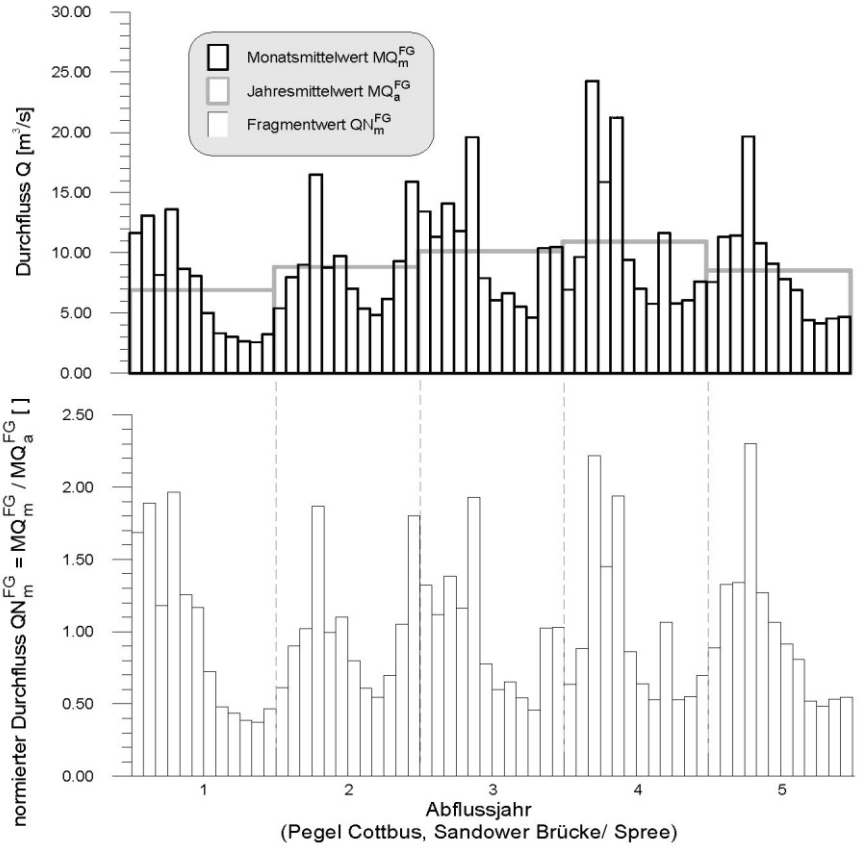


Abbildung 168: Prinzip der Fragmentierung am Beispiel von Monatswerten aus Jahreswerten

Die Fragmentierung von Tageswerten erfolgt mit der Software METAF-M (Kaltofen, 2000). Sie erfolgt in 2 Modulen:

- Fragment
- Simulant

FRAGMENT zerlegt beobachtete Tageswerte des jeweiligen Prozesses in normierte Fragmente. Als Normierungsverfahren sind Division und Subtraktion möglich, deren Auswahl dadurch bestimmt ist, wie sie die Eigenschaften der Fragmente vereinheitlichen. Die zu ermittelnden Eigenschaften umfassen die innere Werte- und Zeitstruktur der Fragmente sowie den Prozessverlauf an ihren Grenzen. Davon ausgehend wird eine im Sinne der Simulationsgüte optimale Anzahl von gegeneinander austauschbaren Fragmenten angestrebt, da während der Simulation konkurrierende Forderungen an die Eignung eines Fragments zu erfüllen sind.

Entsprechende Eigenschaften eines Fragments sind:

- Autokorrelationskoeffizient (lag=1) bzw. paarweise berechneter Kreuzkorrelationskoeffizient (lag=0);
  Letzterer wird für intermittierende Prozesse (Niederschlag) und solche mit innermonatlichem Trend (z. B. Lufttemperatur) empfohlen.
- Wahrscheinlichkeitsverteilung der Einzelwerte jedes Fragments.
  Für den Prozessverlauf an ihren Grenzen werden ermittelt:
- 1./99., 10./90. und 25./75. Zentile der Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Differenzen aufeinanderfolgender Werte, aufgeteilt auf Wertebereiche *DB* des jeweils ersteren Wertes. Die Zentilpaare bilden 3 Intervalle $\varepsilon(ZI, DB)$.
  Der Grad der Austauschbarkeit der Fragmente wird über Irrtumswahrscheinlichkeiten für ihren paarweisen, statistischen Vergleich eingestellt:
- α(K): Unterscheidung der 2 Autokorrelationskoeffizienten bzw. des Kreuzkorrelationskoeffizienten von 0;
- α(V): Unterscheidung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Einzelwerte.
- Der Grad der Aufteilung der Differenzen aufeinanderfolgender Werte auf Wertebereiche des jeweils ersteren Wertes wird eingestellt durch:
- α(D): Unterscheidung der Wahrscheinlichkeitsverteilung der Differenzen.

SIMULANT prägt ausgewählte Fragmente auf die bereitzustellenden synthetischen Monatswerte durch Renormierung auf. Die Auswahl eines „am besten“ geeigneten, sogenannten Basis-Fragments (BFg) erfolgt auf der Grundlage der Zusammenhänge zwischen Monatswert und Eigenschaften der Fragmente. Das Basisfragment wird um die mit FRAGMENT ermittelten Austausch-Fragmente (AFg) ergänzt und u. a. mit dem Ziel der Erhaltung des Prozessverlaufs an den Monatsgrenzen ihre weitere Prüfung vorgenommen. Sind zulässige Fragmente dann nicht vorhanden, werden zyklisch weitere geeignete BFg und deren AFg hinzugenommen. Das letztlich für die Renormierung mit dem Monatswert verwendete Fragment wird aus der Menge der geeigneten Fragmente per Zufallszahl ausgewählt. Der gesamte Vorgang wiederholt sich für den nächsten Monatswert, bis die gesamte Reihe in Tageswerte unterteilt ist.

Dieses Vorgehen fasst Abbildung 169 zusammen.

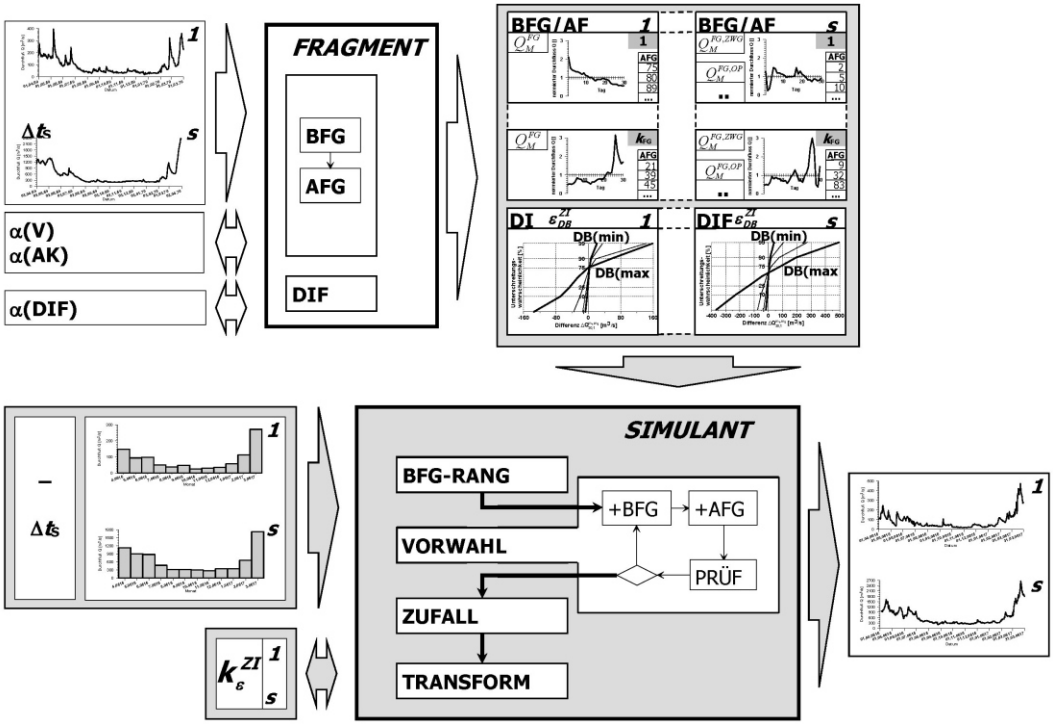


Abbildung 169: Prinzip der Fragmentierung von Tageswerten aus Monatswerten mit METAF-M

3.1.2 Analyse der Datengrundlagen

Tageswerte der Konzentration liegen für mehr als ein Jahr nur für die Aussagequerschnitte Spremberg-Wilhelmsthal und Bräsinchen vor. Für die Querschnitte Leibsch und Beeskow liegen aktuelle Tageswerte seit November 2015 vor. Damit sind für die Ermittlung der Schwankungen der täglichen Konzentrationen um den Monatsmittelwert nur geringe Datengrundlagen vorhanden. Für die Querschnitte in der Unteren Spree bedeutet das, dass weniger als 12 Muster der täglichen Schwankungen vorliegen. Ungeachtet dessen soll dieses Vorgehen auf die Aussagequerschnitte Leibsch, WW Briesen sowie Rahnsdorf angewendet werden.

Die Reihe der gemessenen Tageswerte der Sulfatkonzentration liegt vom 20.11.2015 bis 21.07.2016 vor. Damit können 8 Fragmente (Basisfragmente) von jeweils 30 Tagen erzeugt werden. Für die Verwendbarkeit dieser Fragmente wurden deren Eigenschaften (ohne Normierung) ermittelt und analysiert:

- Autokorrelation (Verschiebung 1 Tag),
- Interdezilabstand.

Die untenstehende Abbildung 170 zeigt die Autokorrelation der Tageswerte der Fragmente in Bezug auf ihren jeweiligen Mittelwert.

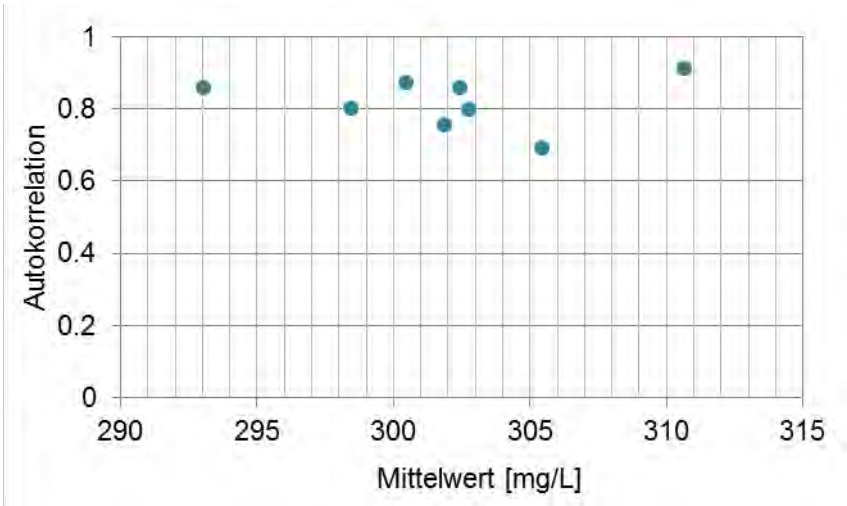


Abbildung 170: Autokorrelationskoeffizient in Bezug auf den Mittelwert der Fragmente

Abbildung 170 zeigt, dass eine hohe positive Korrelation innerhalb der Fragmente existiert, d. h. aufeinanderfolgende Tageswerte liegen häufig im gleichen Wertebereich. Auffallend ist die hohe Einheitlichkeit, so dass hinsichtlich dieser Fragmenteigenschaft eine hohe Austauschbarkeit gewährleistet ist.

Der Interdezilabstand wird als Differenz zwischen dem ersten und dem neunten Dezil berechnet und kennzeichnet die Schwankungsbreite der Werte. Für die vorliegenden Fragmente sind sie in Abbildung 171 dargestellt.

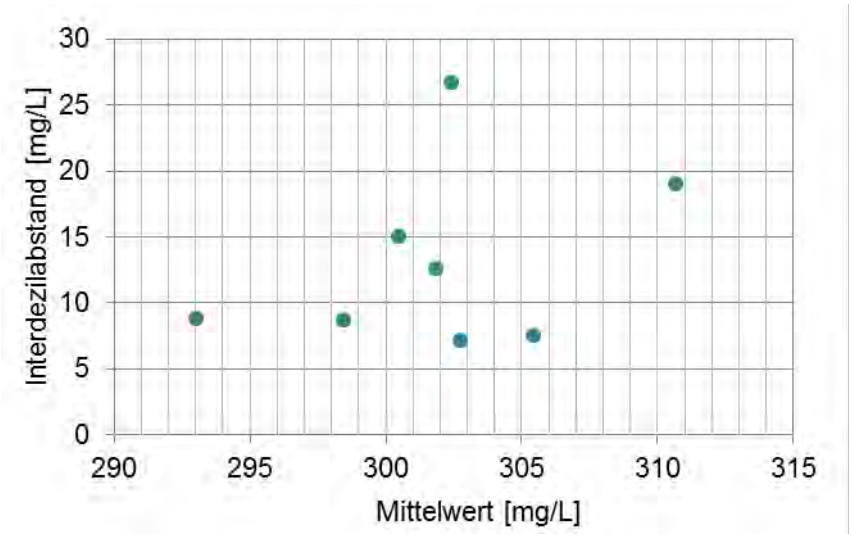


Abbildung 171: Schwankungsbreite der Fragmente als Interdezilabstand in Bezug auf den Mittelwert der Fragmente

Die Fragmente können auch bei vergleichbaren Monatsmitteln eine beträchtlich unterschiedliche Schwankungsbreite aufweisen. Damit ist die Austauschbarkeit eingeschränkt.

3.1.3 Beispielhafte Erzeugung der täglichen Konzentrationen

FRAGMENT

Das FRAGMENT-Modul zerlegt die beobachteten Tageswerte in normierte Fragmente. Als Normierungsverfahren wird Subtraktion und Division verwendet. FRAGMENT

bestimmt außerdem die innere Werte- und Zeitstruktur der Fragmente sowie den Prozessverlauf an ihren Grenzen (vgl. Abschnitt 3.1.1). Die Ergebnisse der Fragmentierung veranschaulicht Abbildung 172.

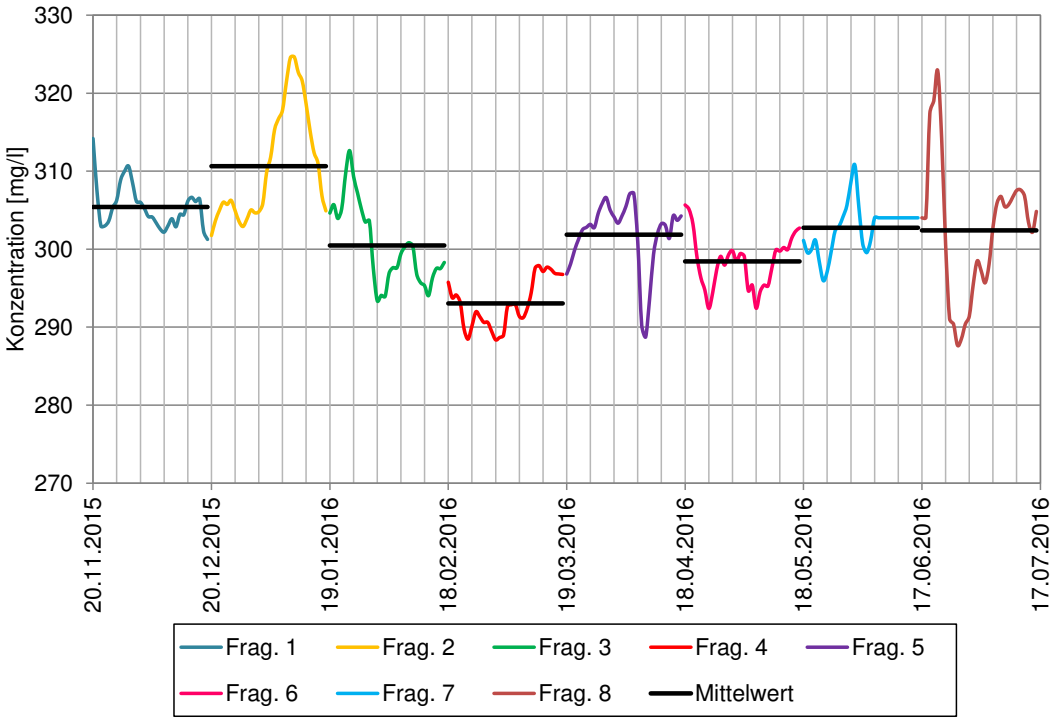


Abbildung 172: Fragmentierung der beobachteten täglichen Sulfatkonzentrationen für Beeskow/Spree

Die Verwendung des FRAGMENT-Moduls zeigt Abbildung 173.

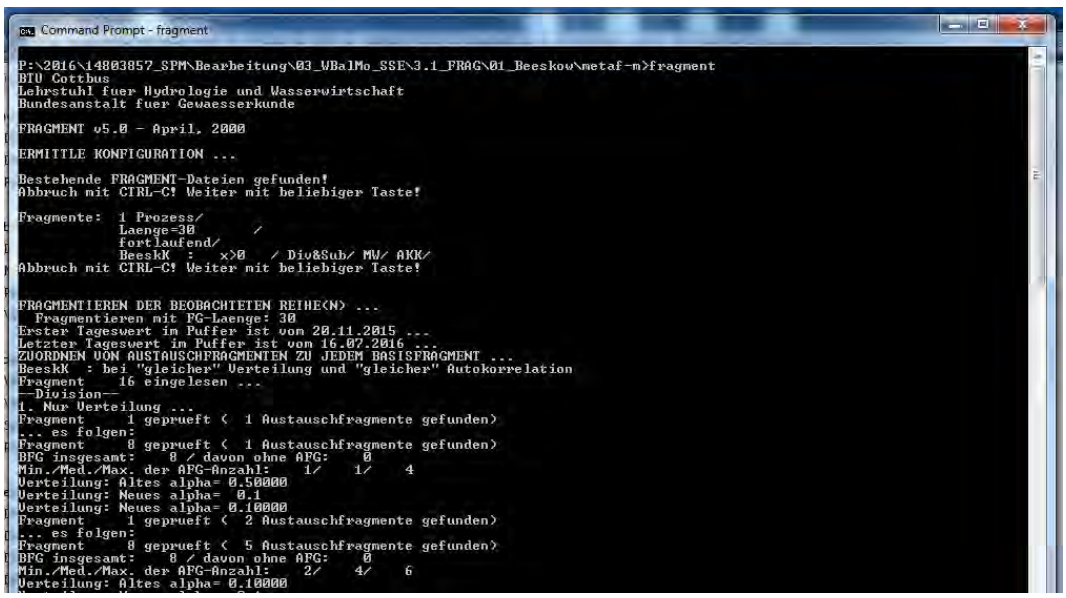


Abbildung 173: Anwendung des Moduls FRAGMENT der Software METAF-M

SIMULANT

SIMULANT prägt ausgewählte Fragmente auf die Monatswerte der Modellergebnisse durch Renormierung auf (vgl. Abschnitt 3.1.1).

Für die beispielhafte Anwendung der Methodik werden die Monatswerte der Sulfatkonzentration von Beeskow/Spree für den Zeitraum 01.01.2010 bis 26.04.2016 anstelle von WBalMo-Ergebnissen verwendet. Die Anwendung des SIMULANT-Moduls zeigt Abbildung 174.

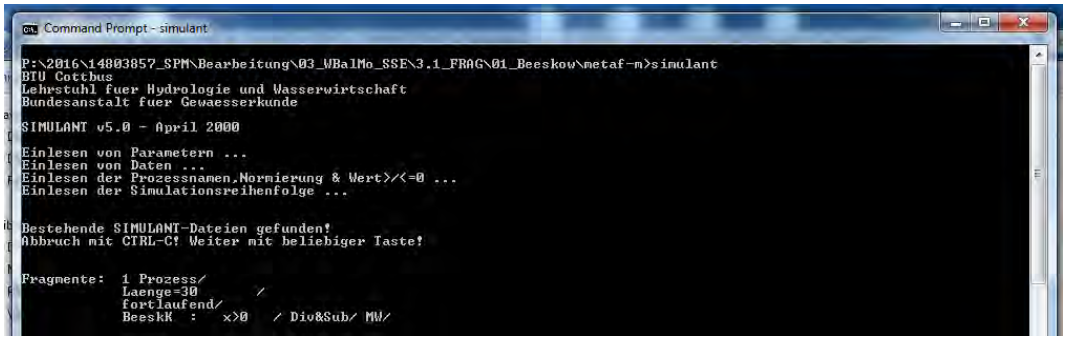


Abbildung 174: Anwendung des Moduls SIMULANT der Software METAF-M

Die Ergebnisse der Erzeugung von Tageswerten zeigt Abbildung 175. Die Verwendung des Begriffs „synthetische“ soll verdeutlichen, dass es sich bei beiden Zeitreihen um Beispiele für Modellergebnisse handelt.

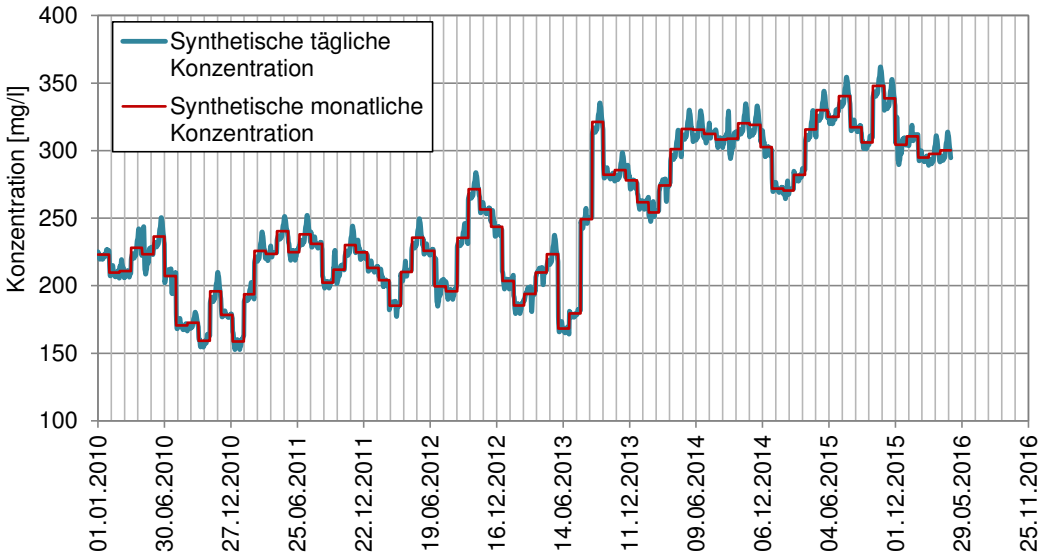


Abbildung 175: Tägliche Sulfatkonzentrationen für Beeskow/Spree, erzeugt durch SIMULANT

Die Ergebnisse zeigen, dass aufgrund der geringen Fragmentanzahl an den Monatsgrenzen vereinzelt hohe Differenzen auftreten können. Für die Fragmentierung der WBalMo-Ergebnisse werden deshalb alle verfügbaren Tageswerte der Sulfatkonzentration in einer Reihe zusammengefasst und daraus die Datenbasis der Fragmente erzeugt. Dieses Vorgehen setzt voraus, dass das Schwankungsverhalten der Tageswerte sich nicht zwischen den einzelnen Querschnitten unterscheidet.

3.1.4 Beispielhafte Darstellung der täglichen Schwankungen der Sulfatkonzentration in Bezug auf Monatsmittelwerte

Letztlich soll für monatliche Sulfatkonzentrationen ermittelt werden, in welchem Bereich kurzzeitige Schwankungen zu erwarten sind. Unter Verwendung der Reihe für

Beeskow/Spree für die Jahre 2010 bis 2016 als „WBalMo-Ergebnisreihe“ (Abbildung 175) soll das prinzipielle Vorgehen veranschaulicht werden.

Zunächst ist festzulegen, wie die Schwankungsbreite quantitativ erfasst werden soll. Als geeignetes Maß wird vorgeschlagen:

- 10%-Perzentil der Tageswerte für den unteren Schwankungsbereich,
- 90%-Perzentil der Tageswerte für den oberen Schwankungsbereich.

Dies entspricht einem 10-jährigen Wiederkehrintervall der Unter- bzw. Überschreitung.

Für die statistisch gesicherte Ermittlung dieser Perzentile ist eine ausreichende Anzahl von Tageswerten erforderlich. Daher ist die Verwendung mehrerer Monate mit Tageswerten notwendig. Dafür wird folgendes Vorgehen gewählt:

- Bestimmung einer oberen und unteren Grenze von Monatswerten für den betrachteten Wert der Sulfatkonzentration (z. B. die monatliche mittlere Sulfatkonzentration mit einem jährlichen Wiederkehrintervall von 10 Jahren der Unterschreitung für die Dauer von 1 Monat),
- Für diese Grenze wird ein Intervall von 5 % jeweils über und unter der monatlichen mittleren Sulfatkonzentration festgelegt, berechnet auf der Grundlage der gleichen mittleren Sulfatkonzentration,
- Auswahl aller Monate, deren Mittelwert innerhalb dieses Bereiches liegt. Für sie wird ein vergleichbares Schwankungsverhalten angenommen.

Für das Beispiel der Monatsreihe von 2010 bis 2016 ergibt das folgende Werte:

- monatliche mittlere Sulfatkonzentration mit einem jährlichen Wiederkehrintervall von 10 Jahren der Unterschreitung für die Dauer von 1 Monat: 319,43 mg/L,
- unterer Monatswert: 303,46 mg/L,
- oberer Monatswert: 335,40 mg/L.

Auf dieser Grundlage wurden 15 Monate ausgewählt, die 458 tägliche Konzentrationswerte enthalten. Diese Tagesdaten wurden verwendet, um das 10 %- und 90 %-Perzentil zu bestimmen. Das Vorgehen veranschaulicht Abbildung 176, in der diese Monate zusammengefügt wurden.

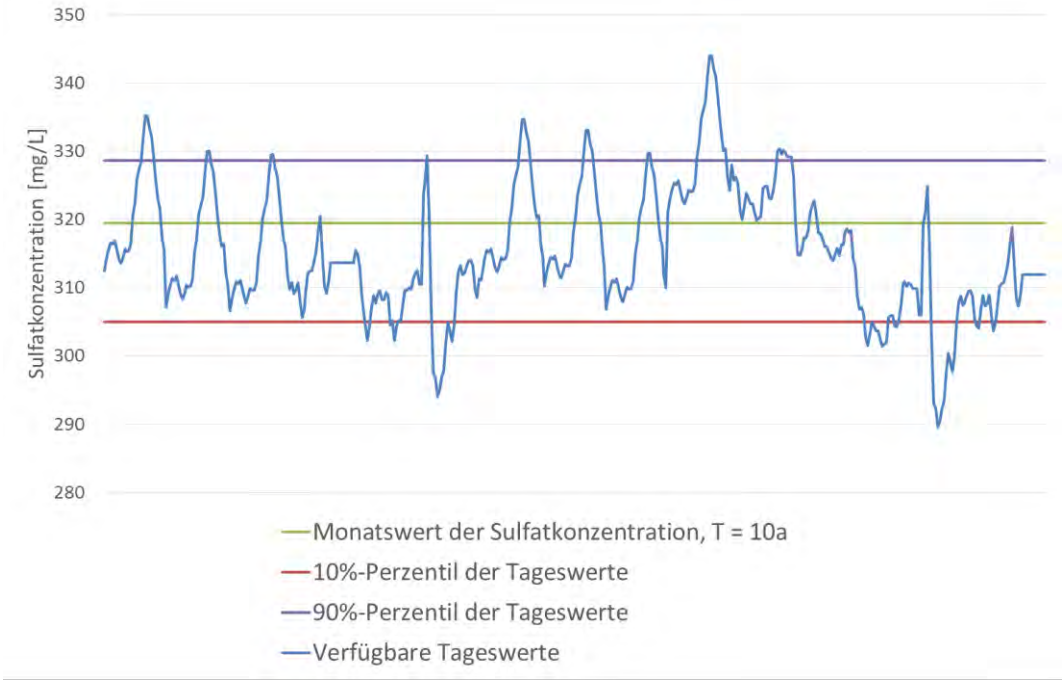


Abbildung 176: Tägliche Sulfatkonzentrationen für die monatliche mittlere Sulfatkonzentration mit einem jährlichen Wiederkehrintervall von 10 Jahren der Unterschreitung für die Dauer von 1 Monat am Beispiel der Reihe 2010-2016 für Beeskow/Spree

Das Ergebnis kann für das Beispiel wie folgt zusammengefasst werden. Für die monatliche mittlere Sulfatkonzentration mit einem jährlichen Wiederkehrintervall von 10 Jahren der Unterschreitung für die Dauer von 1 Monat von

- c(T=10 a, Beeskow/Spree 2010-2016) = 319,43 mg/L

ergibt sich folgender Bereich kurzzeitiger Schwankungen:

- untere Bereichsgrenze: 304,96 mg/L,
- obere Bereichsgrenze: 328,63 mg/L.

Die dargestellten Werte bilden das prinzipielle Vorgehen ab.

Die für die beispielhafte Anwendung vorgenommene Gleichsetzung des Schwankungsverhaltens der täglichen Sulfatkonzentration an allen Querschnitten der Spree ist allerdings praktisch nicht gegeben, da unterhalb des Spreewalds eine starke Vergleichmäßigung der täglichen Schwankungen auftritt. Für die Wasserwerksstandorte liegen derzeit nur tägliche Reihen von weniger als einem Jahr vor (vgl. Abschnitt 3.1.2). Eine Anwendung weist entsprechend den Darstellungen in der Abbildung 175, Abschnitt 3.1.3, daher Unsicherheiten auf. Die fortschreitende Erweiterung der Datenbasis erlaubt prinzipiell die Nutzung der Fragmentierung.

3.2 Module Ergebnisauswertung und Indikatoren

Für die dargestellten Fragestellungen werden folgende Indikatoren durch das Sulfatprognosemodell Spree ermittelt:

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen (an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen und Rahnsdorf) für geeignete Schwellenwertbereiche (z. B. 250 mg/L, 275 mg/L, 300 mg/L) für

a. jeden Prognosehorizont,
b. jede gewählte Dauer,
c. bezogen auf jeden Monat des Jahres.

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle (2, 5 und 10 Jahre) monatsweise nach Prognosehorizont und Dauer.

Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle nach Prognosehorizont und Dauer.

Die Angabe eines Wiederkehrintervalls ist zwingend notwendig, da im Rahmen einer Risikobewertung für einen Betrachtungszeitraum von mindestens einem Jahrzehnt die „Vorhersage“ von Sulfatkonzentrationen nur auf wahrscheinlichkeitsbezogener Grundlage möglich ist. Ein vergleichbares Vorgehen ist aus dem Hochwasserrisikomanagement vertraut, das sich an Schutzzielen in Bezug auf mindestens beherrschbare Hochwasserabflüsse bestimmter Wiederkehrintervalle orientiert, z. B. für HQ(T=100 a).

Das Gefährdungspotential hoher Sulfatkonzentrationen steigt mit ihrer Dauer. Deshalb ist die Verknüpfung mit der Dauer der Überschreitung der jeweiligen Sulfatkonzentrationen notwendig. Da Sulfateinträge und Durchflüsse maßgeblich durch den ober- und unterirdischen Wasserhaushalt gesteuert werden, ist von einer saisonalen Abhängigkeit der Überschreitungsdauer bestimmter Sulfatkonzentrationen auszugehen. Dementsprechend muss die Ermittlung der Wahrscheinlichkeiten saisonal, z. B. monatlich, erfolgen.

Die Indikatoren für die Sulfatkonzentrationen nach Eintrittszeitdauer und Wiederkehrintervall können unterschiedlich ermittelt werden, um dem jeweiligen Bedarf für eine Risikobewertung gerecht zu werden:

1. Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen:
Diese Registrierung erfolgt für die Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen und Rahnsdorf. Diese sind als Registrierung Typ 1 im Sulfatprognosemodell enthalten. Hierbei können für beliebige Schwellenwertbereiche (z. B. 250 mg/L, 275 mg/L, 300 mg/L) die Überschreitungswahrscheinlichkeit ausgegeben werden (beispielhaft Abbildung 177). Voreingestellte Schwellenwerte sind von 0 mg/L bis 1000 mg/L in 100 mg/L Schritten enthalten. Ein Beispiel eines Registrierausdruckes der Überschreitungswahrscheinlichkeit von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen im Sulfatprognosemodell ist Inhalt der Abbildung 178.

Am Beispiel ist abzulesen, dass der Schwellenwert von 200mg/L praktisch immer überschritten wird. Im Umkehrschluss bedeutet das, dass für den dargestellten Querschnitt fast immer höhere Konzentrationen als der genannte Schwellenwert erreicht werden. Beim Schwellenwert von 500 mg/L zeigt sich das umgekehrte Bild. Hier werden in 0,2 % bis 10 % der Fälle 500 mg/L überschritten. Im Umkehrschluss bedeutete das, dass in 90 % bis 100 % der Fälle geringere Konzentrationen als der genannte Sachwellenwert erreicht werden.

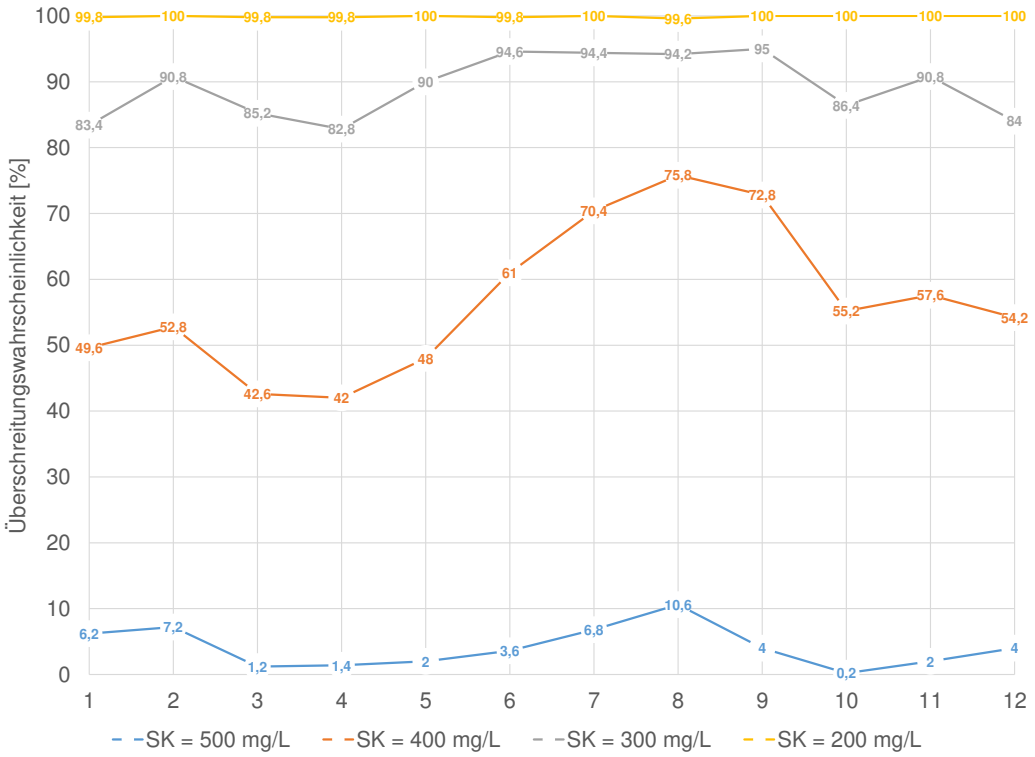


Abbildung 177: Beispiel: Überschreitungswahrscheinlichkeit von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen

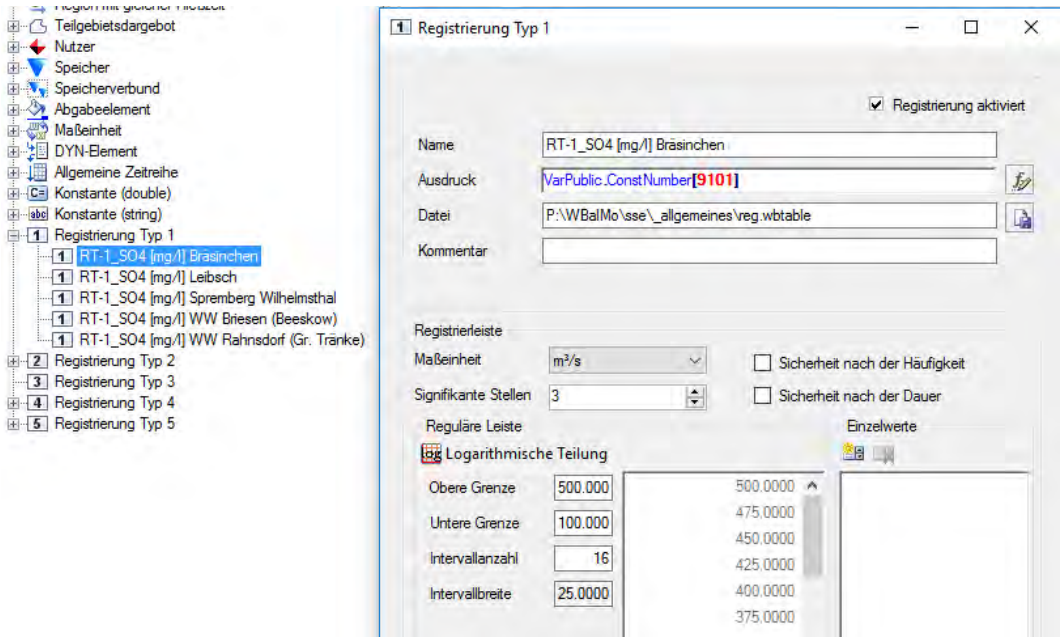


Abbildung 178: Registrierausdruck der Überschreitungswahrscheinlichkeit von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen

Die Berücksichtigung verschiedener Ereignisdauern sind als Registrierung Typ 2 im Sulfatprognosemodell enthalten. Dabei können Aussagen getroffen werden, wie häufig ausgewählte Schwellenwerte der Sulfatkonzentrationen mit verschieden langen Dauern auftreten. Entsprechende Ergebnisse sind beispielhaft in Tabelle 60 dargestellt. Dabei

wird ausgesagt, dass im April in der Periode 4 mit 8 %iger Wahrscheinlichkeit eine Periode von genau 3 Monaten beginnt, in der eine vorgegebene Sulfatkonzentration überschritten wird. Das Auftreten einer Periode von genau 2 Monaten beträgt 4 %. Die Wahrscheinlichkeit, dass im April der Schwellenwert überhaupt überschritten wird, entspricht der Summe der einzelnen Dauern und beträgt 16 %, dass der Schwellenwert für mindestens 2 Monate überschritten wird - entsprechend 12%.

Tabelle 60: Beispiel: Wahrscheinlichkeiten von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses

Dauer [Monaten]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
1	4				4	16	4	8					
2	4				4		4	12					
3	4				8		16	12					

Ein Beispiel eines Registrierausdruckes der Wahrscheinlichkeiten von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses im Sulfatprognosemodell ist Inhalt der Abbildung 179.

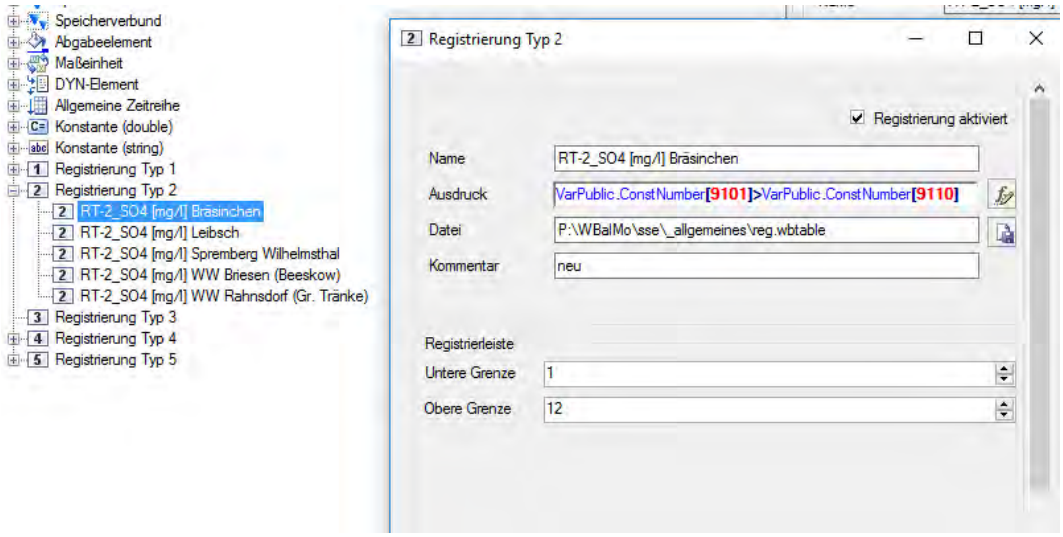


Abbildung 179: Registrierausdruck der Wahrscheinlichkeiten von ausgewählten Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses

2. Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle, ebenfalls monatsweise, nach Prognosehorizont und Dauer:

Diese Registrierung erfolgt für die Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen und Rahnsdorf. Diese sind als Registrierung Typ 5 im Sulfatprognosemodell enthalten. Hierbei können für beliebige Wiederkehrintervalle die Sulfatkonzentrationen ausgegeben werden (beispielhaft Abbildung 180). Voreingestellte Perzentile sind 5, 10, 20, 50, 80, 90 und 95. Ein Beispiel eines Registrierausdruckes der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T im Sulfatprognosemodell ist Inhalt der Abbildung 181.

Am Beispiel ist abzulesen, dass im August bei einem Wiederkehrintervall von 2 Jahren mit einer Sulfatkonzentration von mindestens 449 mg/L am Aussagequerschnitt zu rechnen ist. Bei einem Wiederkehrintervall von 20 Jahren erhöht sich die

Sulfatkonzentration auf 549 mg/L. Das heißt, dass statistisch gesehen einmal in 20 Jahren mit einer Sulfatkonzentration von mindestens 549 mg/L zu rechnen ist.

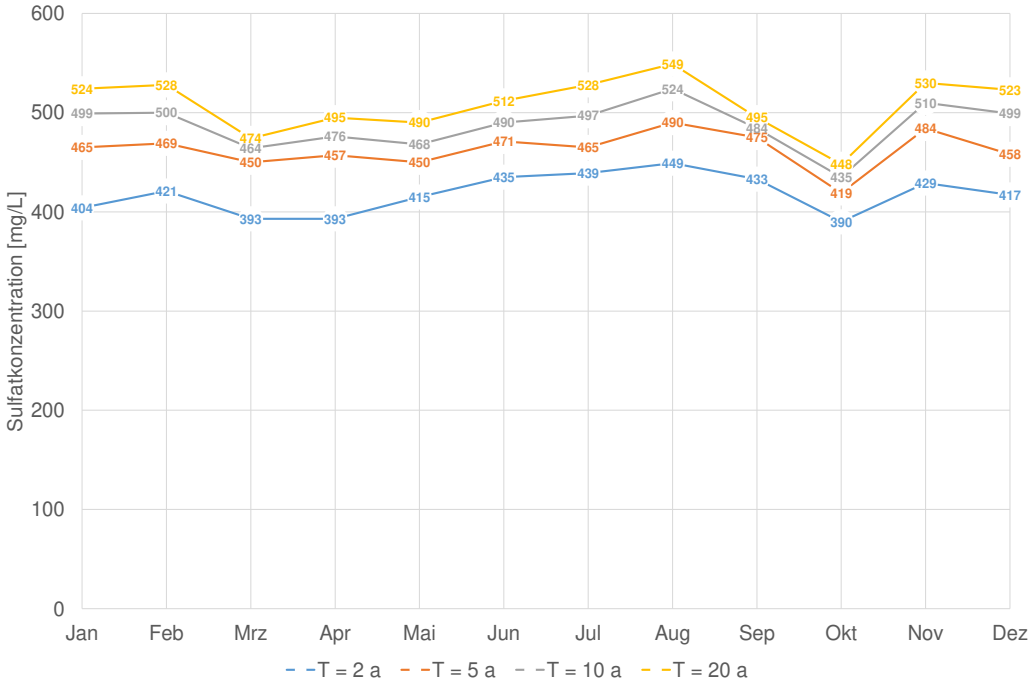


Abbildung 180: Beispiel: Monatliche Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T

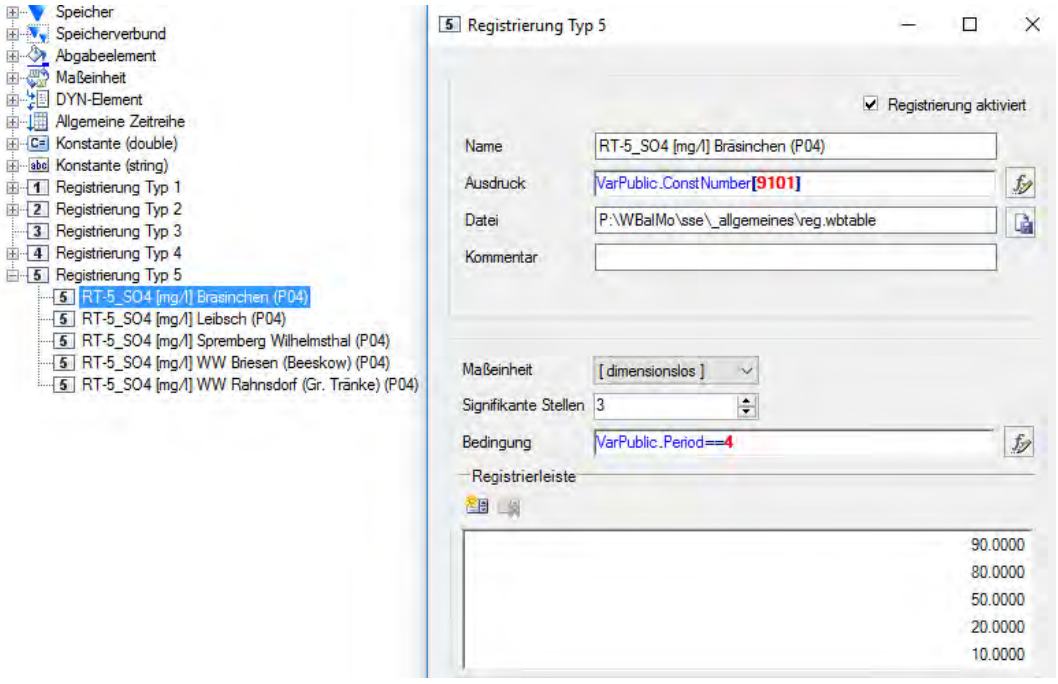


Abbildung 181: Registrierausdruck der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T

Für die Ausgabe von unterschiedlichen Dauern werden im Sulfatprognosemodell je nach Dauer die entsprechenden Maximalwerte der Sulfatkonzentration für jeden Zeitschritt

registriert. Das heißt, es wird für jeden Monat der Maximalwert von mehreren aufeinander folgenden Monaten (in Abhängigkeit der Dauer) ermittelt. Diese durchgängig ermittelten Werte werden anschließend als Allgemeine Zeitreihe für die Aussageperiode gespeichert. Im Postprozess wird die Allgemeine Zeitreihe in einem separaten WBalMo (Modell ohne weitere Systemelemente) eingelesen und über die Registrierung Typ 5 ausgewertet. Somit können die monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern dargestellt werden. Beispiel eines Registrierausdruckes der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern im Sulfatprognosemodell ist Inhalt der Abbildung 183.

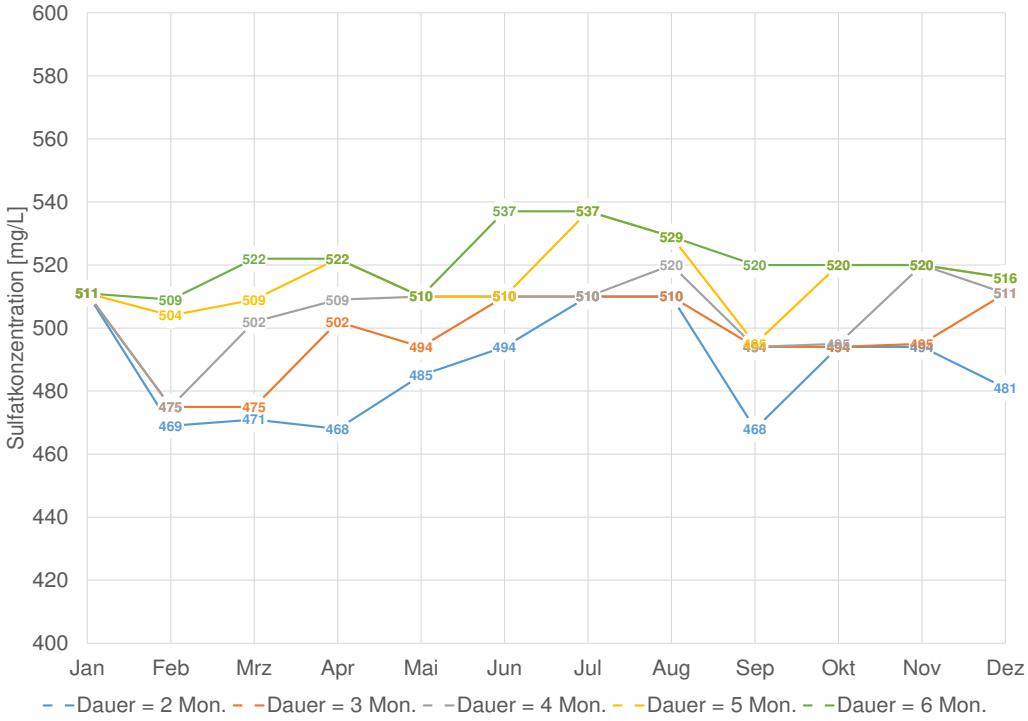


Abbildung 182: Monatliche Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T (Bsp. T=5a) und Dauern

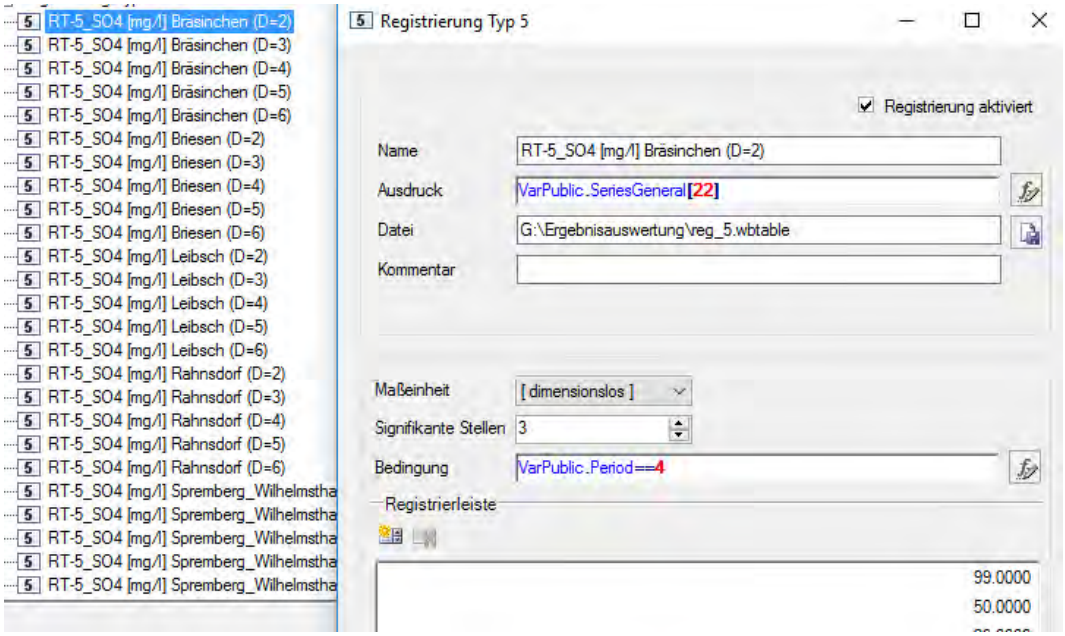


Abbildung 183: Registrierausdruck der monatlichen Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern

3. Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle ebenfalls nach Prognosehorizont und Dauer:

Diese Registrierung erfolgt für die Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen und Rahnsdorf. Hierfür werden die Minimalwerte der Sulfatkonzentration für jede Dauer > 1 Monat registriert. Das heißt, es wird der kleinste Wert von aufeinander folgenden Monaten (abhängig von der Dauer) ermittelt. Am Ende des Jahres wird aus dieser Reihe von Minimalwerten der Maximalwert registriert und gespeichert. Diese Werte werden anschließend als Registrierung Typ 5 im Sulfatprognosemodell ausgewertet, wobei das Ergebnis der Auswertung im Monat Dezember enthalten ist. Somit können die Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern dargestellt werden. Die voreingestellten Perzentile sind 5, 10, 20, 50, 80, 90 und 95 und können beliebig geändert werden. Eine beispielhafte Darstellung der Ergebnisse ist Inhalt der Abbildung 184 und ein Beispiel eines Registrierausdruckes der Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern im Sulfatprognosemodell ist Inhalt der Abbildung 185.

Am Beispiel ist zu erkennen, dass bei einem Wiederkehrintervall von 2 Jahren eine Sulfatkonzentration von 456 mg/L in zwei aufeinander folgenden Monaten überschritten wird. Bei einer Dauer von 6 Monaten aufeinander folgenden Monaten wird dagegen eine Sulfatkonzentration von 402 mg/L durchgehend überschritten.

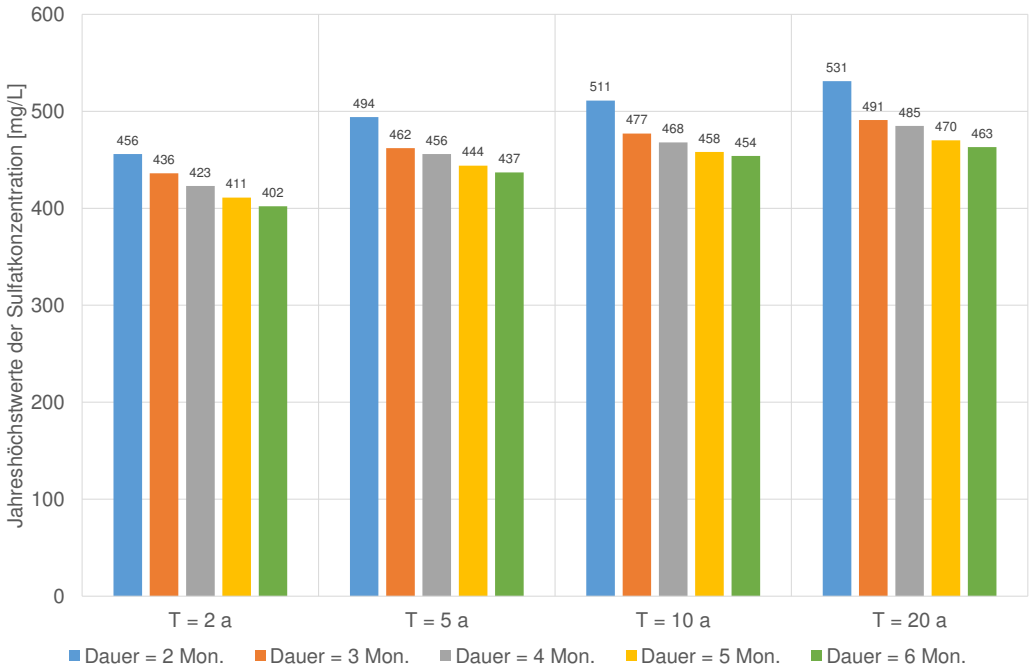


Abbildung 184: Beispiel: Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern

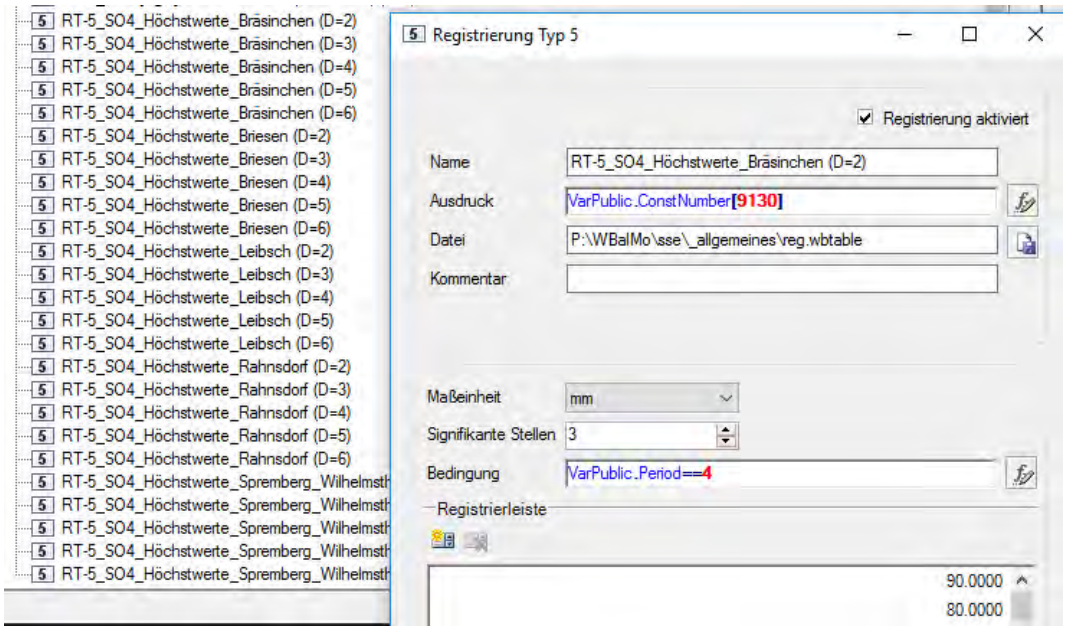


Abbildung 185: Registrierausdruck der Jahreshöchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle T und Dauern

4 Prüfung des WBalMo-Sulfatprognosemodells

4.1 Übersicht zum Sulfatprognosemodell

4.1.1 Modellvergleich

Im Zuge der Modellbearbeitung war es notwendig, Änderungen am WBalMo Spree/ Schwarze Elster vorzunehmen. Dabei beruhen ein Teil der Änderungen auf den Untersuchungen zu den Tagebauen Nochten, Reichwalde und Welzow für die LEAG (Vattenfall) und ein anderer Teil auf der Einarbeitung der Sulfatemissionen und Sulfattranslation ins Modell.

Modellanpassungen für TRG aus dem Bereich LEAG

Diese Anpassungen sind nicht Bestandteil des hier zu bearbeitenden Auftrages, sondern wurden durch die LEAG in Abstimmung mit dem AK Wassermenge beauftragt. Da vereinbart wurde, einen Teil der Änderungen in diesem Auftrag wirksam werden zu lassen, werden sie hier im Folgenden berichtet.

Tagebau Reichwalde

Der Tagebaufolgesee Reichwalde wurde im aktuellen WBalMo berücksichtigt. Nach Einstellung des aktiven Tagebaus erfolgt die Flutung über den neuen Nutzer 144.4, wobei Wasserüberleitungen aus dem Weißen Schöps genutzt werden. Die Flutung erfolgt nur, wenn die Nutzungen am Weißen und Schwarzen Schöps sowie der Spree in Sachsen und der Spree in Brandenburg nicht beeinträchtigt und die Mindestabflüsse nicht unterschritten werden.

Für die Bilanzierung des Sees wurden die Niederschlags-Verdunstungsbilanz und die Grundwasserbilanz überarbeitet. In diesem Zuge wurde der Nutzer 156.6 (Verdunstung Reichwalde) entfernt, da diese Größe über die Niederschlags-Verdunstungsbilanz (dyn 002) berücksichtigt wird.

Die Ausleitung aus dem Tagebaufolgesees erfolgt über den Nutzer 156.3.

Eine Übersicht der geänderten WBalMo Elemente ist Inhalt der Tabelle 61 und Abbildung 186.

Tabelle 61: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Reichwalde

Modellelement	Beschreibung	Änderung
N 156.6	Verdunstung Reichwalde	gelöscht
N 144.4	Flutung RL Reichwalde (Haidesee)	angelegt
N 156.3	Ausleitung Reichwalde	angelegt

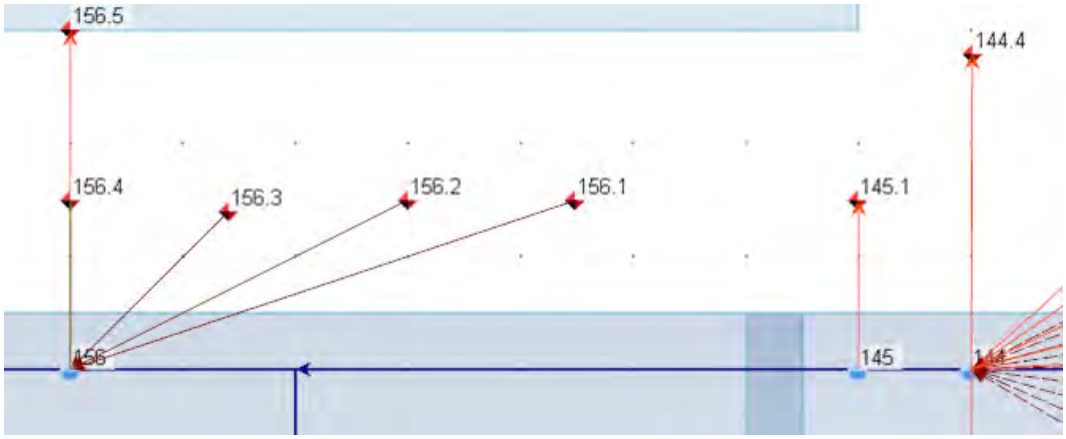


Abbildung 186: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Reichwalde mit geänderten Systemelementen

Tagebau Nochten

Nach Einstellung des aktiven Tagebaus erfolgt die Flutung, wobei Wasserüberleitungen aus der Spree genutzt werden. Dafür war es notwendig, ein neues Bilanzprofil (161.0 Entnahmeprofil für Flu. RL Nochten / Welzow) anzulegen, an dem das Flutungswasser aus der Spree entnommen wird. Über den Nutzer AE161.1 (Flutung RL Nochten (Mühlroser See)) wird die Flutung realisiert.

Für die Bilanzierung des Sees wurden die Niederschlags-Verdunstungsbilanz und die Grundwasserbilanz überarbeitet. In diesem Zuge wurde der Nutzer 190.8 (Verdunstung Nochten) entfernt, da diese Größe über die Niederschlags-Verdunstungsbilanz (dyn 002) berücksichtigt wird.

Darüber hinaus wurden das Fließgewässer Struga und das Bilanzprofil Struga oh. TRL Nochten ergänzt. Dieser Fluss besitzt im Modell keine direkte Verbindung zur Spree, da das Eigendargebot der Struga aktuell Richtung Lausitzer Neiße abgeschlagen wird. Nach Beendigung des Tagebaus Nochten soll die Struga in den entstehende Tagebaufolgesee einleiten.

Eine Übersicht der geänderten WBalMo-Elemente ist Inhalt der Tabelle 62 und Abbildung 187 .

Tabelle 62: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Nochten

Modellelement	Beschreibung	Änderung
BP 161	Entnahmeprofil für Flu. RL Nochten / Welzow	angelegt
BP 180	Struga oh. TRL Nochten	angelegt
N 161.1	Flutung RL Nochten (Mühlroser See)	angelegt
N 190.8	Verdunstung Nochten	gelöscht
N 190.14	Ausleitung RL Nochten (Mühlroser See)	angelegt
STG 10	Spree, Schöpsmündung bis TS Spremberg (Sperrstelle)	erweitert um Struga
FGW Struga	Struga	angelegt

Abbildung 187: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Nochten mit geänderten Systemelementen

Tagebau Welzow

Nach Einstellung des aktiven Tagebaus erfolgt die Flutung, wobei Wasserüberleitungen aus der Spree genutzt werden. Dafür war es notwendig, ein neues Bilanzprofil (161.0 Entnahmeprofil für Flu. RL Nochten / Welzow) anzulegen, an dem das Flutungswasser aus der Spree entnommen wird. Über den Nutzer AE161.2 (Flutung RL Welzow Süd (Clarasee)) wird die Flutung realisiert.

Für die Bilanzierung des Sees wurden die Niederschlags-Verdunstungsbilanz und die Grundwasserbilanz überarbeitet. In diesem Zuge wurde der Nutzer 200.3 (Verdunstung Welzow) entfernt, da diese Größe über die Niederschlags-Verdunstungsbilanz (dyn 002) berücksichtigt wird.

Eine Übersicht der geänderten WBalMo Elemente ist Inhalt der Tabelle 63 und Abbildung 188.

Tabelle 63: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Simulationsteilgebiet (STG) für den TRS Welzow

Modellelement	Beschreibung	Änderung
BP 161	Entnahmeprofil für Flu. RL Nochten / Welzow	angelegt
N 161.2	Flutung RL Welzow Süd (Clarasee)	angelegt
N 200.3	Verdunstung Welzow	gelöscht
N 200.3	(GW-ASG/KA ABA Spremberg)	angelegt
N 433.7	Ausleitung RL Welzow Süd (Clarasee)	angelegt

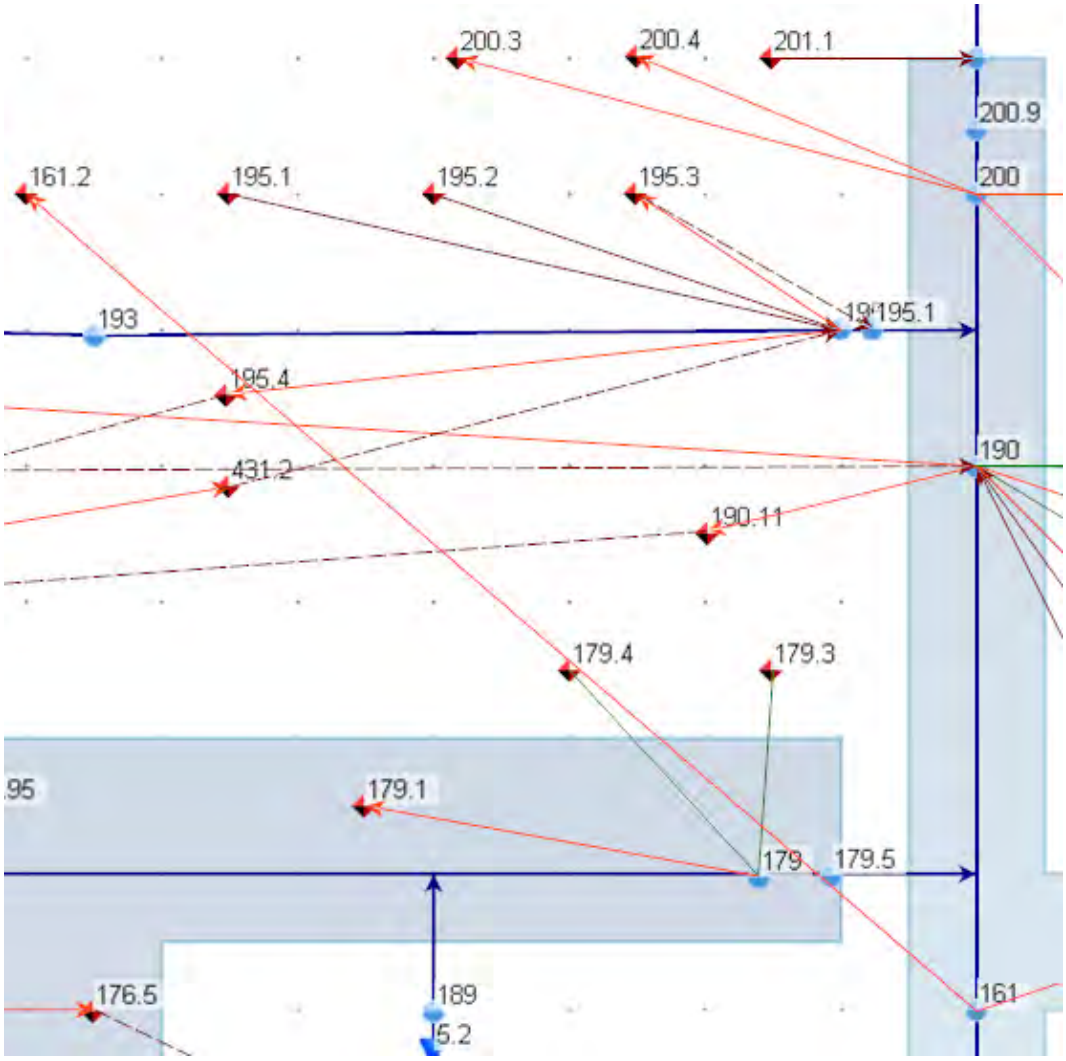


Abbildung 188: Ausschnitt der Systemskizze im Bereich des Tagebaus Welzow mit geänderten Systemelementen

Cottbuser See

Im Bereich des Cottbuser Sees wurde der Ableiter Cottbuser See „Schwarzer Graben“ dahingehend geändert, dass dieser nicht in die Spree sondern in den Hammergraben mündet.

Darüber hinaus wurde die Berücksichtigung des Grundwasseraustausches im See erweitert und an die spezifischen Bedingungen (z. B. TRG Klinge) angepasst. Für den Flutungszeitraum und den Nachsorgezeitraum sind dafür getrennte Parametersätze abgeleitet worden, die nun in das Modell übernommen wurden.

Neißewasserüberleitung

Die Neißewasserüberleitung wird zur Unterstützung der Flutung der RLK im Schwarze-Elster-Gebiet verwendet. Darüber hinaus kann nicht benötigtes, verfügbares Neißewasser zur Sulfatsteuerung verwendet werden.

Durch die Übernahme der LEAG-Planung ist es im Modell prinzipiell möglich, Neißewasser auch für die Flutung der TRG Welzow, Nochten und Reichwalde sowie des SB Cottbuser See zu verwenden.

Um mengenseitig eine genaue Zuordnung der Neißewasserüberleitungen vornehmen zu können, wurden eine Reihe von Überleitungsnutzern angelegt.

Eine Übersicht der Nutzer kann der Tabelle 6 entnommen werden.

Tabelle 64: Übersicht der neuen bzw. geänderten Nutzer und Bilanzprofile zur Neißewasserüberleitung

Modellelement	Beschreibung	Änderung
N 144.3	Rückfüllung nicht benötigter Neißewasserüberleitung	Rangzahl geändert
N 144.6	Neißewasserüberleitung 2 (für Cottbuser See)	angelegt
N 144.7	Rückfüllung nicht benötigter Neißewasserüberleitung 2	angelegt
N 144.87	Neißewasserüberleitung 3 (für Reichwalde)	angelegt
N 144.88	Rückleitung Neißewasserüberleitung 3	angelegt
N 144.8	Neißewasserüberleitung 4 (für Nochten)	angelegt
N 144.9	Rückleitung Neißewasserüberleitung 4	angelegt
N 144.85	Neißewasserüberleitung 5 (für Welzow)	angelegt
N 144.86	Rückleitung Neißewasserüberleitung 5	angelegt

Modellanpassungen im Zuge der Berücksichtigung der Sulfatemissionen und Sulfattranslation

Für die Berücksichtigung der Sulfatemission und Sulfattranslation wurden folgende Änderungen vorgenommen:

Als Emissionsquerschnitt für das Sulfat wurde in der Spree oberhalb der TS Spremberg das Bilanzprofil Spremberg Wilhelmsthal 200.9 angelegt.

Für die Aufteilung der Spree und Malxe in Nordumfluter und „Rest“ wurde das Bilanzprofil 239.1 (Spree und Malxe ohne Nordumfluter unterhalb Wehrgruppe Schmogrow und Dücker Großes Fließ) angelegt. Über dieses Bilanzprofil wird mit dem Nutzer 239.11 (Abschlag Nordumfluter Gesamt nach Wehrgruppe Schmogrow und Düker Großes Fließ) die Überleitung in den Nordumfluter dargestellt. Dies dient allerdings lediglich als Modellobjekt, auf dem die Sulfatkonzentration und die abgeleitete Menge gespeichert werden, um sie dem Sulfattranslationsmodul zur Verfügung zu stellen. Für die Bilanzierung wird er nicht verwendet. Hierfür sind Erweiterungen der Dargebotsmodellierung („SPREMO“) und der Nutzerzuordnung zu den Entnahmeprofilen sowie eine entsprechende Änderung der dynamischen Modellelemente erforderlich, die hier nicht geleistet werden können.

Im Spreewald wurden die Bilanzprofile 239.2, 239.3 und 239.4 erstellt. Damit können die Nutzer 210.2, 240.31, 240.33, 240.1, 240.2, 240.41, 240.42 und 240.43 lagegerecht Entnahmen bzw. Rückleitungen vornehmen.

In diesem Zusammenhang ist zur Verdeutlichung des derzeitigen Dargebotsansatzes das Simulationsteilgebiet 19 in der Systemskizze so verkleinert worden, dass deutlich wird, dass es sich ausschließlich auf den Pegel Lübben, Zusammenfluss (Bilanzprofil 240) bezieht. Anzumerken ist, dass dieses Dargebot aus dem Gesamtwert für den Ober- und Unterspreewald berechnet wird. Dafür werden Gebietsanteile der Niederung und ihrer Randgebiete zu Grunde gelegt.

Für die Berücksichtigung der Sulfatemissionen aus dem Nordraum wurden weiter die Fließgewässer und Bilanzprofile angelegt. Das sind das Göritzer Mühlenfließ mit dem Bilanzprofil 222.0 und der Beuchower Graben mit dem Bilanzprofil 223.0. Im Einzugsgebiet der Wudritz wurde der Schlabendorfer See als Speicher (Kennzahl 16) berücksichtigt. In diesem Zuge wurden ein Zuflussprofil (218.4) und ein Abflussprofil (218.5) angelegt. Am Abflussprofil kann ein Mindestabfluss zur Berücksichtigung der Erfordernisse der Eisenhydroxidemissionen festgelegt werden (Qmin 218.51) und eine Überleitung in den Beuchower Graben (218.52) zum Lichtenauer See (Pumpwerk) vorgenommen werden.

Für die Berücksichtigung der NÜL im WBalMo-Sulfatprognosemodell wurde ein neues Bilanzprofil 143 angelegt, auf dem die tatsächlichen, geplanten und gesteuerten Überleitungsmengen sowie die zugehörige Sulfatkonzentration abgelegt werden.

Tabelle 65: Übersicht der geänderten Bilanzprofile (BP), Nutzer (N), Fließgewässer (FGW) und Speicher (Sp)

Modellelement	Beschreibung
BP 143	NÜL oberhalb Einleitung in den Weißen Schöps
BP 200.9	Spremberg-Wilhelmsthal
BP 239.1	Spree und Malxe ohne Nordumfluter unterhalb Wehrgruppe Schmogrow und Dücker Großes Fließ
BP 239.2	Spree und Malxe ohne Nordumfluter, für Einleitung obh. Greifenhainer Fließ
BP 239.3	Spree und Malxe ohne Nordumfluter, für Entnahme unterh. Greifenhainer Fließ
BP 239.4	Spree und Malxe ohne Nordumfluter mit Zuflüssen aus dem Nordraum in den Südumfluter vor seiner Mündung in die Hauptspree, für Entnahme und Einleitungen oberh. Mündung
FGW Göritzer Mühlenfließ	Göritzer Mühlenfließ
BP 222.0	Pegel Göritz/Göritzer Mühlenfließ, dem Oberspreewald zugeordnet
FGW Beuchower Graben	Beuchower Graben
BP 223.0	Beuchower Dorfgraben am Lichtenauer See, dem Oberspreewald zugeordnet
N 240.51	Überleitung aus Lichtenauer See
Sp 16	Schlabendorfer See
BP 218.4	Zufluss Schlabendorfer See (Lorenzgraben)
BP 218.5	Abfluss Schlabendorfer See (Lorenzgraben)
N 218.51	Mindestausleitung Schlabendorfer See
N 218.52	Zusätzliche Ausleitung Schlabendorfer See
N 214.8	ÜL Heideteiche bei Reddern

4.1.2 Parameter der Sulfateintragsmodule

Nachfolgende Tabellen geben einen Überblick über die Sulfatkonzentrationen und WBalMo-Systemelemente, die in den Sulfateintragsmodulen enthalten sind.

Tabelle 66: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule im Südraum (bis Pegel Spremberg-Wilhelmsthal)

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
Weißer Schöps	Q 142.0	Natürlicher Hintergrund	65 mg/L
	Q 143.0	Überleitung Neißewasser	70 mg/L
	N 156.1	GWBA Kringelsdorf (Nochten)	260 mg/L / 250 mg/L
	N 156.2	GWBA Kringelsdorf (Reichwalde)	260 mg/L / 250 mg/L
Schwarzer Schöps	Q 155.0	Natürlicher Hintergrund	65 mg/L
	N 134.0	Ausleitung SB Bärwalde	140 mg/L
Kleine Spree	Q 176.39 Q 188.0	Natürlicher Hintergrund, Zuleitung SB Burghammer	Jahresgang, vgl. Tabelle 27
	N 176.31	Ableiter Scheibe	516 mg/L / 410 mg/L
	N 182.0	Überleitung SB Dreiweibern zu SB Lohsa II	170 mg/L
	N 185.1	Vorflut Lippen	590 mg/L
		Grundwasserzustrombereiche	vgl. Tabelle 28 und Tabelle 29
Spree	Q 137.0 Q 184.0	Natürlicher Hintergrund, Zuleitung SB Lohsa II	Jahresgang, vgl. Tabelle 26
	N 160.1	Diffuser bergbaulicher Eintrag Abstrom SB Bärwalde	Zeitreihe bis 2100, vgl. Tabelle 31 und Abbildung 43
	N 162.0	GWBA Tzschelln	1700 mg/L
	N 191.1	Diffuser bergbaulicher Eintrag Abstrom SB Lohsa II	Zeitreihe bis 2100, vgl. Tabelle 31 und Abbildung 43
	N 164.1	Diffuser bergbaulicher Eintrag Altarm Ruhlmühle	620 mg/L
	N 164.2	Diffuser bergbaulicher Eintrag Graben Neustadt	1100 mg/L
	N 179.51	Diffuser bergbaulicher Eintrag Abstrom SB Burghammer	Zeitreihe bis 2100, vgl. Tabelle 31 und Abbildung 43
	N 195.0	GWBA Schwarze Pumpe	470 mg/L
	N 195.3	KW Schwarze Pumpe	1320 mg/L / 1500 mg/L
	N 200.6	Diffuser bergbaulicher Eintrag Spreewitz bis Talsperre Spremberg	340 mg/L

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
	N 200.7	Diffuser bergbaulicher Eintrag Alter Mühlgraben Zerre	440 mg/L
	N 201.11	GWBA Am Weinberg, Einleitung Kochsa	860 mg/L

Tabelle 67: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule von Spremberg-Wilhelmsthal/Spree bis zum Spreewald mit Tranitz, Malxe und Hammergraben

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
Hauptspree bis Spreewald	N 201.12	GWBA Am Weinberg, Einleitung Hühnerwasser	860 mg/L
	N 206.5	GWBA Am Weinberg, Einleitung Döbberner Graben	860 mg/L
	N 208.0	Einleitung verlegte Tranitz	Q < 0,25 m³/s:400 mg/L, Q ≥ 0,25 m³/s 200 mg/L
Malxe mit Tranitz und Hammergraben	Q 230.0	Diffuser Eintrag Tranitz	120 mg/L
	Q 233.0 Q 236.0 Q 237.0	Diffuser Eintrag Hammergraben, Malxe	230 mg/L
	N 235.0	Ausleitung Cottbuser Ostsee in Hammergraben	500 mg/L (worst case 600 mg/L)
	N 232.0	Malxe, Ablauf GWRA Jänschwalde uh. KW	340 mg/L / 350 mg/L
	N 232.7	Kühlturmablauf KW Jänschwalde	715 mg/L / 800 mg/L

Tabelle 68: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule im Nordraum (Südzuflüsse Spreewald)

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
Greifenhainer Fließ	BP 212	Abflussabhängige Frachtbilanzierung,	vgl. Tabelle 36
	N 214.8	Überleitung aus EZG Vetschauer Mühlenfließ in Teil-EZG oberhalb Gräbendorfer See	
	N 432.1	GWRA Rainitza	680 mg/L / 760 mg/L
	N 212.2	GWBA Am Weinberg	860 mg/L
	N 212.71	Ausleitung Greifenhainer See	1100 mg/L
	N 212.81	Ausleitung Gräbendorfer See	500 mg/L
	N 206.2	Überleitung Priorgraben	450 mg/L
	Q 212.1	Diffuser Eintrag	70 mg/L
Vetschauer Mühlenfließ	N 214.8	Überleitung aus EZG Vetschauer Mühlenfließ in Teil-EZG oberhalb Gräbendorfer See	
	N 432.2	GWRA Rainitza	680 mg/L / 760 mg/L
	Q 214.0	Diffuser Eintrag	400 mg/L
Göritzer Mühlenfließ	Q 222.0	Diffuser Eintrag	$c = 73{,}96 * Q^{-0{,}372}$
Dobra	N 240.51	Ausleitung Lichtenauer See in Lichtenauer Graben	2000 mg/L
	N 216.41	Ausleitung Dobra Drehnaer See Schönfelder See Bischdorfer See	680 mg/L 780 mg/L 550 mg/L
	Q 216.0	Diffuser Eintrag Redlitzer See Kittlitzer See Oberlauf Kleptna	70 mg/L
Beuchower Graben	Q 223.0	Diffuser Eintrag	70 mg/L
	N 240.51	Ausleitung Lichtenauer See in Beuchower Westgraben	2000 mg/L

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
Wudritz	BP 218.5	Ausleitung Schlabendorfer See in Lorenzgraben	2100 mg/l / 2400 mg/L*
	N 218.51	Ausleitung Schlabendorfer See in Ottergraben (Mindestabfluss in Wudritz)	2100 mg/l / 2400 mg/L*
	N 218.52	Überleitung Schlabendorfer See	2100 mg/l / 2400 mg/L*
	Q 218.0	Diffuser Eintrag Stoßdorfer See Hindenberger See	70 mg/L
Berste	Q 219.0	Diffuser Eintrag	c = 28,431 * ln(Q) + 151,86

N – Nutzer; Q – Eigendargebot, *) ab 2026

Tabelle 69: WBalMo-Systemelemente der Sulfateintragsmodule Untere Spree und Spreegebiet bis Rahnsdorf

Sulfateintragsmodul	WBalMo Element	Beschreibung	SO4-Konzentration
Spreewald	Q 245.0	Diffuser Eintrag	70 mg/L
Untere Spree von Leibsch bis Beeskow	Q 260.0	Diffuser Eintrag	70 mg/L
Schleuse Kehrsdorf	Q 263.0	Diffuser Eintrag	c = 0,55 * c(Beeskow + 27,5
Untere Spree von Beeskow bis uh Schleuse Kehrsdorf	Q 264.0	Diffuser Eintrag	183 mg/L
Untere Spree von uh Schleuse Kehrsdorf bis Große Tränke	Q 269.0	Diffuser Eintrag	183 mg/L
Untere Spree von Große Tränke bis Rahnsdorf (ohne Löcknitz)	Q 271.0	Diffuser Eintrag	70 mg/L
Löcknitz	Q 271.1	Diffuser Eintrag	210 mg/L

Q – Eigendargebot

4.1.3 Parameter der Sulfattranslationsmodule

Im Abschnitt 2.3 wurden die Sulfattranslationsmodule Spreewald, WW Briesen und Rahnsdorf aufgebaut. Im Ergebnis dieser Arbeiten wurde für jedes Sulfattranslationsmodul eine Impulsantwortfunktion bestimmt. Die Parameter der

Impulsantwortfunktionen aus Tabelle 52, Tabelle 55 und Tabelle 58 wurden in Tabelle 70 zusammengefasst und den entsprechenden WBalMo-Systemelementen zugeordnet. Dabei werden zwischen Bilanzprofilen, Nutzern (z. B. Abschlag Nordumfluter Gesamt nach Wehrgruppe Schmogrow und Düker Großes Fließ) und dem Eigendargebot unterschieden.

Tabelle 70: Parameter der Impulsantworten der Sulfattranslationsmodule

Sulfat-translations-modul	WBalMo Element	Durchfluss-bereichs-untergrenze [m³/s]	Parameter der Impulsantwort-funktionen		
			1	2	3
Spreewald	N 239.11	0,00	0,8915	0,1048	
		2,99	0,9154	0,0632	
	BP 239.1, BP 213.0, BP 215.0, BP 222.0	0,00	0,7342	0,1864	
		7,00	0,8092	0,0617	
	BP 217.0, BP 220.0, BP 221.0, BP 223.0	0,00	0,3961	0,5765	
		1,02	0,4517	0,2968	
	Q 240.0	-6,00	0,8367	0,0176	
		0,00	0,8688	0,0410	
WW Briesen	BP 250.0	0,00	0,9195	0,0000	0,0000
	Q 260.0	0,00	1,0000	0,0000	0,0000
Rahnsdorf	BP 260.0	0,00	0,9500	0,0500	
	N 263.1	0,00	0,9800	0,0200	
	Q 270.0	0,00	2,4510	0,0001	

BP – Bilanzprofil; N – Nutzer; Q - Eigendargebot

4.1.4 Umsetzung des Stoffmengenbilanzmodells TS Spremberg im Sulfatprognosemodell

Die Eingangsgrößen für das Stoffmengenbilanzmodell TS Spremberg sind der Durchfluss und die Sulfatkonzentration an der Sperrstelle der TS Spremberg. Im WBalMo-Dargebot sind in den Durchflusswerten bereits der Niederschlag und die Oberflächenverdunstung enthalten. Die Zuflussmenge und die Sulfatfracht zur TS Spremberg werden auf den aktuellen Inhalten bzw. Sulfatmenge der Talsperre addiert. Der Talsperreninhalt wird um die zusätzliche Seenverdunstung reduziert, wobei die Sulfatmenge unverändert bleibt. Aus dem geänderten Talsperreninhalt ergibt sich die aktuelle Mischkonzentration von Sulfat, die für die Abgabe der TS Spremberg zu Grunde gelegt wird.

Tabelle 71: Parameter der Impulsantwort für das Sulfattranslationsmodul TS Spremberg für Monatsmittelwerte

Bezeichnung	Parameter	Beschreibung
Zufluss	SO4tmonDischarge(201)	Sulfatfracht am Zuflussquerschnitt TS Spremberg (Spreestelle)
	SO4mgLDischarge (201)	Sulfatkonzentration am Zuflussquerschnitt TS Spremberg (Spreestelle)
Talsperreninhalt	SO4tStorage(6.0)	Sulfatmenge in der TS Spremberg
	SO4mgLStorage(6.0)	Sulfatkonzentration in der TS Spremberg
Zusätzliche Seeverdunstung		Berücksichtigung der zusätzlichen Seenverdunstung
Abfluss	SO4tmonDischarge(203)	Sulfatfracht am Ausflussquerschnitt TS Spremberg (Bräsinchen)
	SO4mgLDischarge (203)	Sulfatkonzentration am Ausflussquerschnitt TS Spremberg (Bräsinchen)

4.2 Güte des Mengenmodells

Die Güte des Modellkomplexes ergibt sich in Bezug auf die Wassermenge aus:

- der Anpassungsgüte des stochastischen meteorologischen Modells SIKOSIMO an die jeweiligen beobachteten Zeitreihen,
- der Güte der Kalibrierung des NAM-EGMO in Bezug auf gemessene, um zu bilanzierende Wassernutzungen bereinigte Abflusszeitreihen sowie
- der Güte der Übereinstimmung der Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln mit den für den Simulationszeitraum gültigen bzw. geplanten.

Eine Übersicht zu den geführten Nachweisen wird in den folgenden Abschnitten gegeben.

4.2.1 Anpassungsgüte des stochastischen meteorologischen Modells

Die Güte der mit dem SIKOSIMO erzeugten meteorologischen Daten ergibt sich aus der Übereinstimmung statistischer Kennwerte gemessener meteorologischer Zeitreihen mit denen der simulierten Zeitreihen. Die entsprechenden Nachweise sind in (DHI-WASY, 2009) für das SESIM08 dargestellt. Sie wurden durch den Anwenderkreis des AK Wassermenge bestätigt.

Für das Simulationsmodell wurden die Einzugsgebiete der Spree und der Schwarzen Elster in 18 Teilgebiete untergliedert:

- 13 Gebiete gehören zur Spree: 1-9, 15 und 101-103
- 5 Gebiete gehören zur Schwarzen Elster: 10-14.

Ihre Lage der Teilgebiete ist Inhalt der Abbildung 189 und wurde bestimmt durch die Lage von Pegeln und von wichtigen Nebenflüssen. Für jedes Teilgebiet erarbeitete der Deutsche Wetterdienst (DWD) monatliche Reihen des Gebietsmittels des Niederschlags

und der potentiellen Verdunstung und zwar für die Kalenderjahre 1951-2006. Die 56-jährigen Reihen wurden unverändert übernommen.

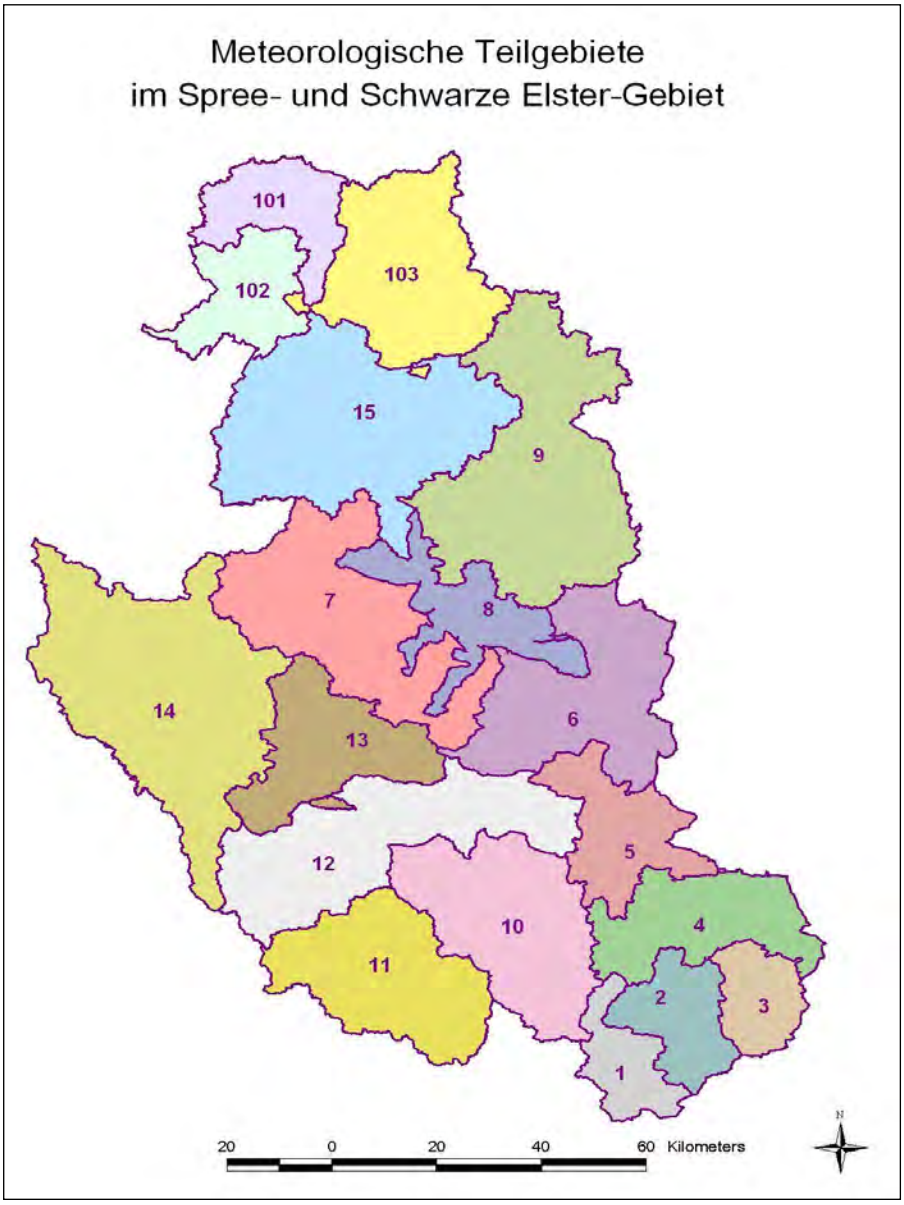


Abbildung 189: Meteorologische Teilgebiete im Spree- und Schwarze Elster-Gebiet

Die angestrebte Erzeugung langer künstlicher Reihen der meteorologischen Prozesse auf Monatsbasis erfolgte mit Hilfe der „Methode der bedingten Verteilung“ (SIKO/SIMO, 2001), die zur Familie der mehrdimensionalen Autoregressionsmodelle gehört.

Die erzeugten Reihen wurden anschließend dahingehend überprüft, ob ihre Charakteristika wie Mittelwerte oder Korrelationen mit denen der Beobachtungsreihen hinreichend genau übereinstimmen.

In der Abbildung 190 sind beobachtete und simulierte jährliche Niederschläge und potentielle Verdunstungen entlang von Spree und Schwarzer Elster enthalten. Man erkennt beim jährlichen Niederschlag die allgemeine Tendenz einer Abnahme in Fließrichtung mit einer Unterbrechung im Berliner Raum. Dagegen zeigt die jährliche potentielle Verdunstung kaum nennenswerte Änderungen.

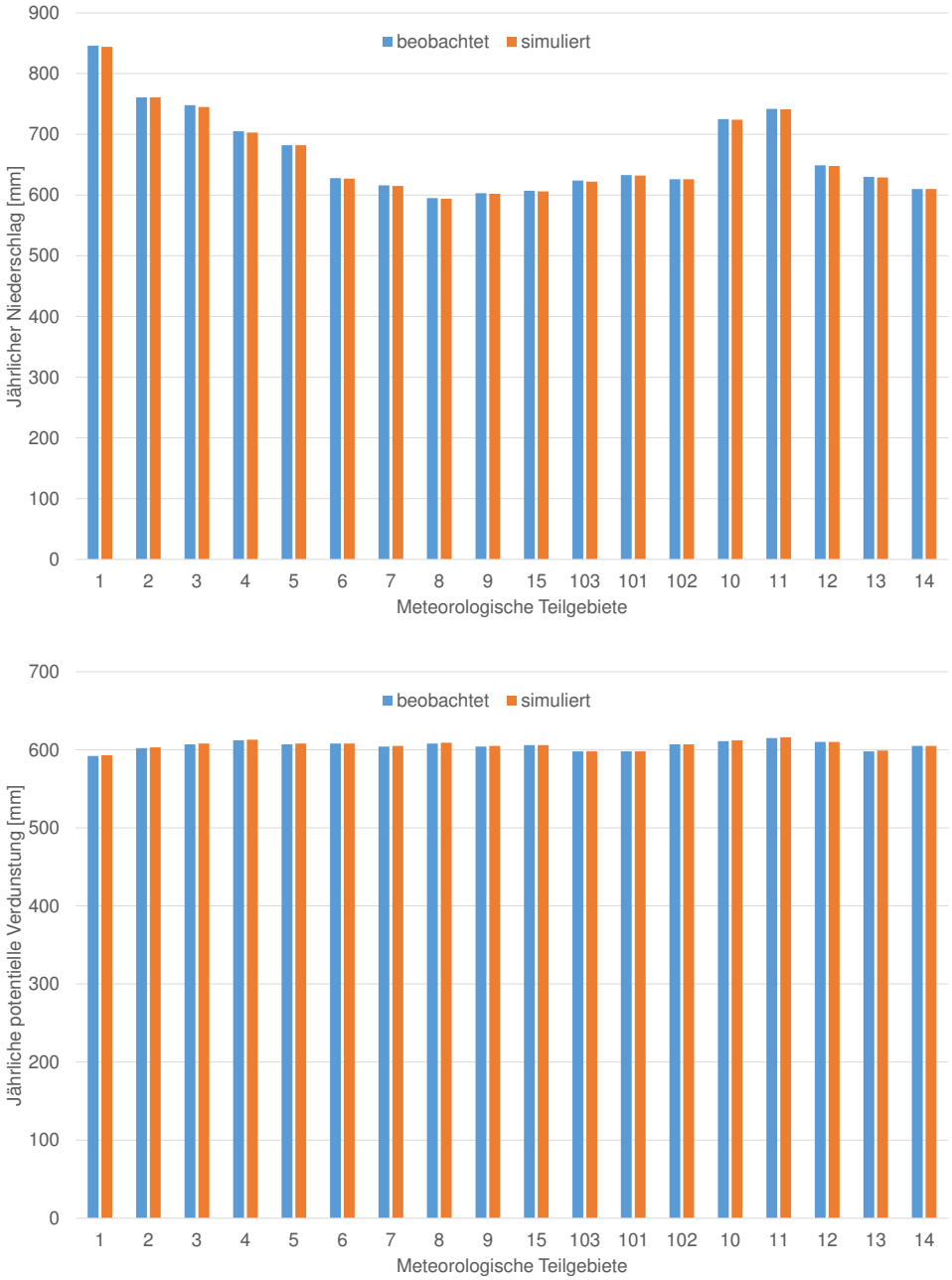


Abbildung 190: Beobachtete und simulierte jährliche Niederschläge (oben) und potentielle Verdunstungen (unten) entlang von Spree und Schwarzer Elster (Angaben in mm) (Jahresmittel über die Gesamtreihe)

Die erzeugten stochastischen meteorologischen Daten werden anschließend zu Eingangsdaten der NAM-EGMO-Modelle.

4.2.2 Güte der Kalibrierung des Niederschlag-Abfluss-Modells NAM-EGMO

Die natürlichen Abflüsse wurden mit dem NAM-EGMO auf der Basis der meteorologischen Daten simuliert. Die Kalibrierung und der Gütenachweis ist in (DHI-WASY, 2010) beschrieben und wurde durch den Anwenderkreis des AK Wassermenge bestätigt. Auch in den folgenden Jahren erfolgten Arbeiten an der Kalibrierung des NAM-EGMO. Beispielhaft sind in Abbildung 191 die beobachteten und simulierten Abflüsse für das Einzugsgebiet des Pegels Bautzen Weite Bleiche/ Spree dargestellt. Die hohen NSE-

Werte von 0,89 (Kalibrierungszeitraum) und 0,84 (Validierungszeitraum) belegen die gute Modellanpassung (DHI-WASY, 2013).

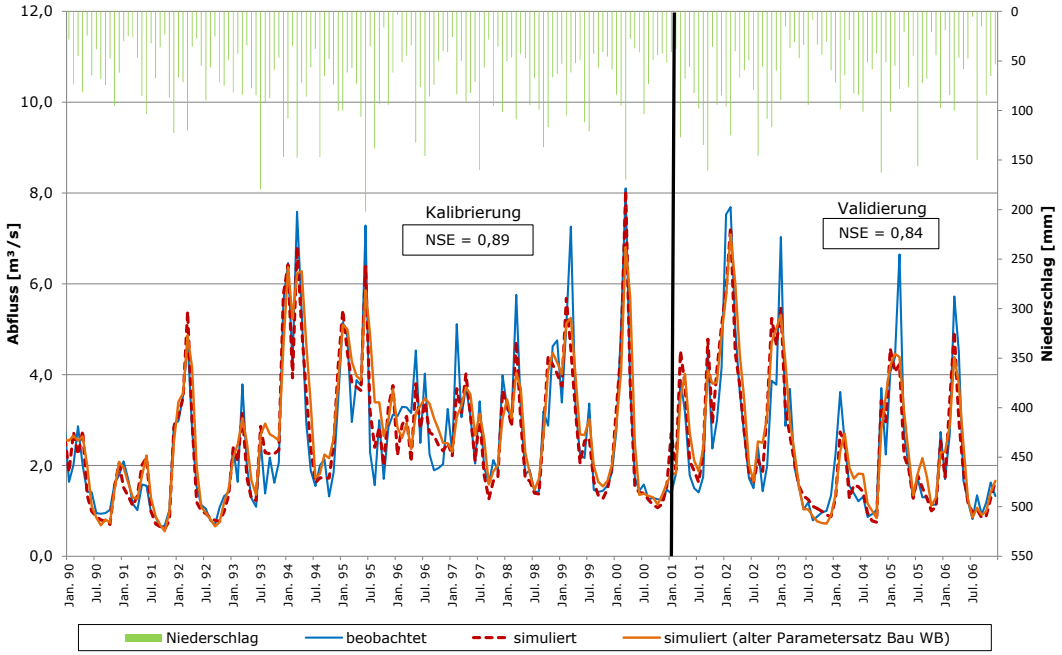


Abbildung 191: Gegenüberstellung der beobachteten und simulierten Abflüsse am Pegel Bautzen Weite Bleiche/ Spree

Die erzeugten stochastischen natürlichen Abflüsse werden anschließend zu Eingangsdaten des WBalMo.

4.2.3 Güte der Übereinstimmung der Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln

Das WBalMo enthält ausschließlich Planungsdaten zur Bewirtschaftung der Einzugsgebiete. Die erforderliche Güte des WBalMo-Modells hängt also von der Übereinstimmung der Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln mit den für den Simulationszeitraum gültigen bzw. geplanten ab und wird durch die kontinuierliche Pflege dieser Daten durch die im Anwenderkreis vertretenen Wasserbehörden der Länder, die LMBV und die Zuarbeiten von LEAG gewährleistet.

Darüber hinaus erfolgten im aktuellen Projekt die Bestätigungen der Wasserbehörden der Länder, der LMBV und der LEAG dahingehend, dass die im zugrunde gelegten WBalMo-Modell enthaltenen Wassernutzungen dem aktuellen Stand entsprechen und mit den aktuellen Bewirtschaftungsregeln hinterlegt sind.

4.2.4 Verifizierung des WBalMo Spree/Schwarze Elster

Nach der Erstellung des WBalMo Spree/Schwarze Elster im Jahre 1993 erfolgte eine Verifizierung Modells durch Nachrechnungen (WASY, 1993). Der Bericht stellt fest, dass eine „akzeptierbare Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen“ des im Modell „implementierten Bewirtschaftungsalgorithmus und den beobachteten Gebietszuständen erzielt wurde“. Im Resultat dieser Untersuchungen wurde das damalige Modell zur allgemeinen Anwendung freigegeben.

Eine weitere Gütebewertung wurde für den WBalMo-Komplex Havel-Spree im Jahr 2010 im Rahmen eines Auftrages der Bundesanstalt für Gewässerkunde realisiert. Dabei wurden statistische Parameter der Durchflüsse beobachteter und simulierter Zeiträume für wichtige Pegel verglichen, vgl. (BfG, 2013).

4.2.4.1 Selektion und Analyse simulierter Zeitreihenabschnitte für den Vergleich mit Messwerten

Zusammenfassend ergibt sich, dass unter Beachtung der Abschnitte 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 und 4.2.4 davon ausgegangen werden kann, dass der Gesamtkomplex des WBalMo-Sulfatprognosemodells mit seinen oben genannten Bestandteilen die erforderliche Qualität bezüglich des Mengenmodells aufweist.

Ergänzend zu den bereits vorliegenden Untersuchungen zur Güte des Mengenmodells wurde eine weitere Methode zum Nachweis der Güte durchgeführt. Diese Methode beruht auf einer vollständigen und direkten Anwendung aller Eingangsdaten und der Algorithmen in Erweiterungsmodulen des WBalMo.

Für die Güte des Mengenmodells wurden Beobachtungsdaten von 2003 bis 2015 und Modelldaten der Periode (2008-2012) herangezogen. Dafür wurde der Längsschnitt der Spree, beginnend vom Pegel Bautzen UP/Spree bis Große Tränke UP/Spree, in Bezug auf die Durchflüsse analysiert. Die Funktion der Talsperren, Speicher und Überleitungen im Modell wurden dabei so angepasst, dass sie denen des beobachteten Zeitraumes entsprechen.

Nach den oben genannten Anpassungen im WBalMo-Sulfatprognosemodell wurde ein Rechenlauf über alle 100 Realisierungen durchgeführt. Auf Basis dieser Daten wurde für den Zeitabschnitt der 2. Periode (2008-2012) untersucht, ob Zeitabschnitte existieren, die mit beobachteten Zeitabschnitten übereinstimmen. Im Ergebnis dieser Untersuchung wurden mehrere Zeitabschnitte mit akzeptablen Übereinstimmungen gefunden. Aus dieser Datenbasis wurde der Zeitabschnitt von 2010-2011 der 35. Realisierung für weiterführende Untersuchungen ausgewählt. Der Ausschnitt der Modelldaten passt dabei mit den beobachteten Abflüssen der Periode 2009-2010 ausreichend gut überein.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Modelldaten auf Basis stochastischer Modellierungen erzeugt wurden. Das heißt, die Modelldaten geben im Mittel die beobachteten Abflussbedingungen wieder, aber ohne die beobachteten Witterungsverhältnisse der Vergangenheit genau wiederzugeben. Aus diesem Grund ist es möglich, beobachtete Zeitabschnitte z. B. von 2010-2011 mit Modellzeitabschnitten von 2009-2010 zu vergleichen. Gleichzeitig ist es aber nahezu ausgeschlossen, dass die Abflussverhältnisse für den gesamten Zeitraum übereinstimmen.

4.2.4.2 Vergleich der Abflüsse an den Bilanzprofilen

Im Folgenden wird der beobachtete Zeitabschnitt von 2009-2010 mit den Modellabflüssen von 2010-2011 genauer untersucht. In Tabelle 72 ist die Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen enthalten. Hierbei werden der NSE, der mittlere relative Fehler und der Korrelationskoeffizient ausgewertet.

Insgesamt ist festzustellen, dass die Ergebnisse mehrheitlich in einem ausreichend guten Bereich liegen. Bezüglich des Gütemaßes NSE wird ein Bereich von 0,31 (Sproitz) bis 0,64 (Spremberg) abgedeckt. Beim mittleren relativen Fehler liegt die Schwankungsbreite bei 65 % (Beeskow) bis 29 % (Fehrow/Malxe) und beim Korrelationskoeffizienten bei 0,61 (Sproitz) und 0,81 (Fehrow/Malxe).

In Abbildung 192 bis Abbildung 195 sind für die einzelnen Bilanzprofile die beiden Vergleichsjahre aufgetragen. Bis auf vereinzelte Monate bei denen beobachtete Abflüsse und Modellabflüsse weit auseinander gehen, sind insgesamt gut Übereinstimmungen zu beobachten. Die Monate mit den größten Abweichungen sind der Januar des ersten Jahres und der Juli des zweiten Jahres. Werden diese beiden Monate beim Vergleich zwischen beobachteten Abflüssen und Modellabflüssen nicht berücksichtigt, wird eine signifikante Erhöhung der Gütemaße erzielt. Beispielsweise steigt der mittlere NSE von 0,52 auf 0,67.

Tabelle 72: Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen für die ausgewählten Zeitabschnitte

Bilanzprofil, Bezeichnung	NSE [-]	Mittlerer relativer Fehler [%]	Korrelations-koeffizient [-]
112, Bautzen UP	0,46	62	0,69
130, Lieske	0,45	48	0,68
160, Sprey	0,58	42	0,78
190, Spreewitz	0,63	42	0,79
200, Spremberg	0,64	34	0,79
203, Bräsinchen	0,59	39	0,76
250, Leibsch UP	0,52	60	0,73
260, Beeskow	0,51	65	0,75
270, Große Tränke UP	0,53	35	0,76
152, Sproitz	0,31	59	0,61
239, Fehrow/Malxe	0,45	29	0,81
Mittelwert	**0,52**	**47**	**0,74**
Mittelwert (ohne Januar des ersten Jahres und Juli des zweiten Jahres)	**0,67**	**32**	**0,82**

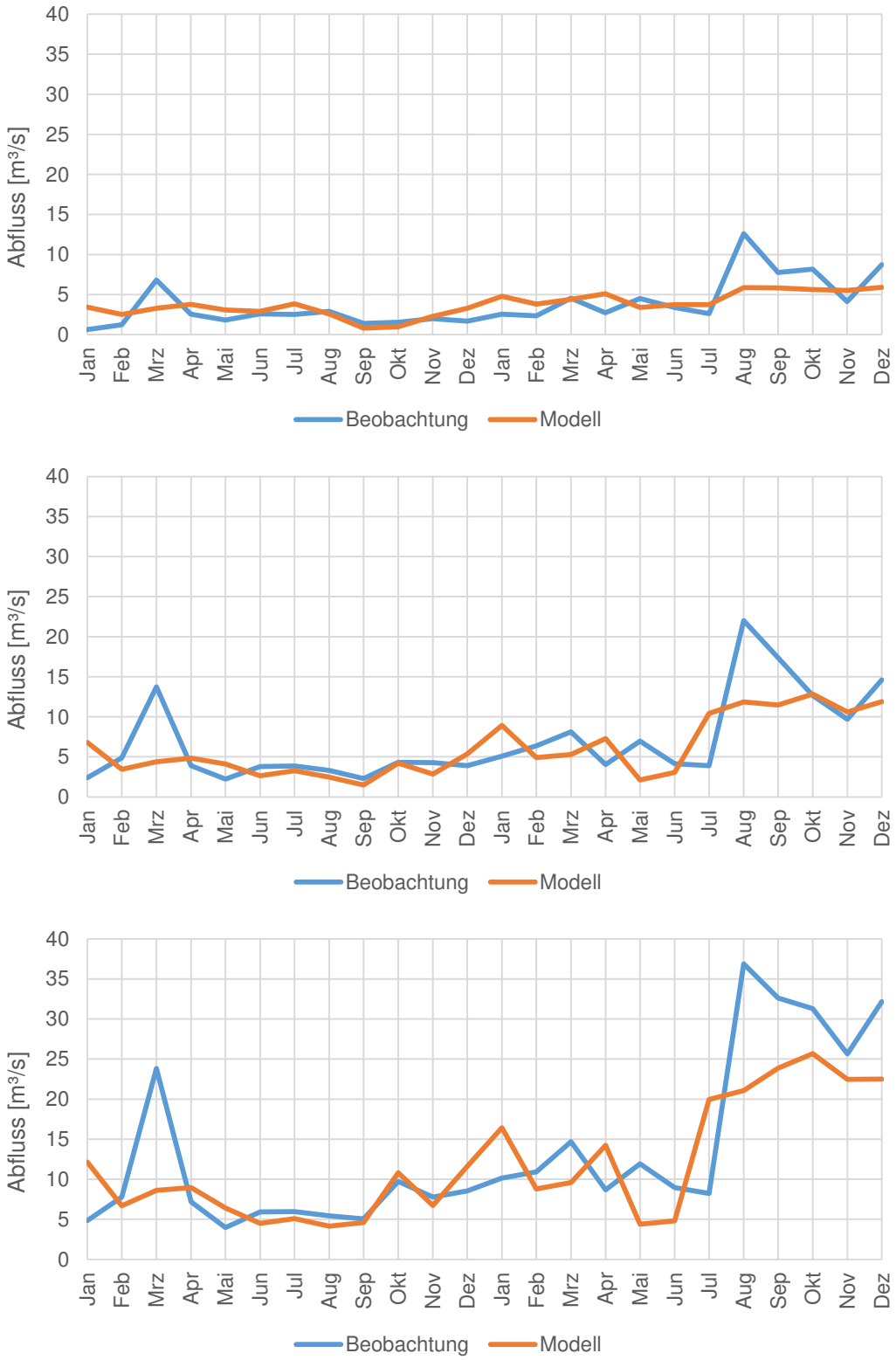


Abbildung 192: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Bautzen UP (oben), Lieske (Mitte) und Sprey (unten)

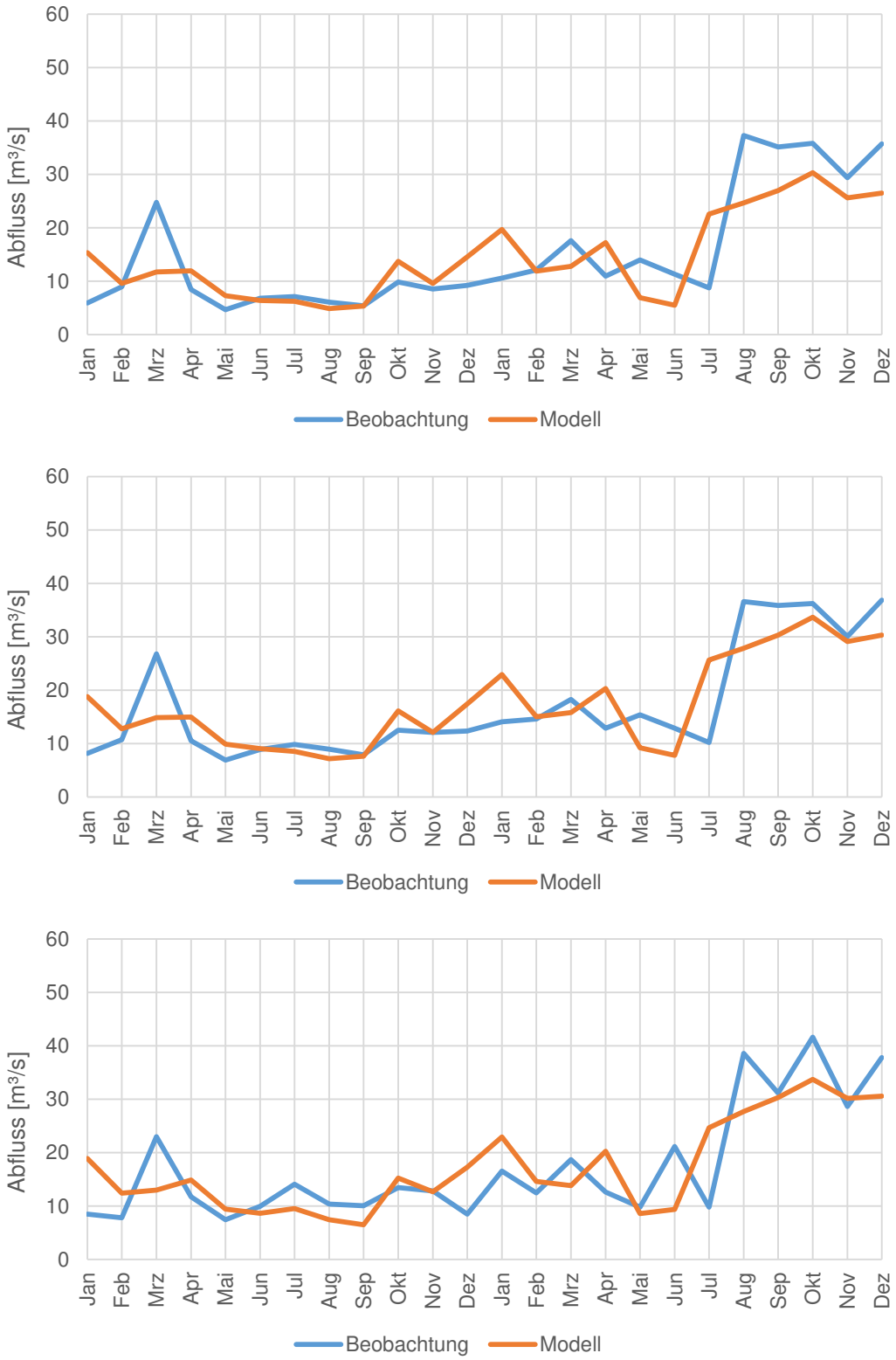


Abbildung 193: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Spreewitz (oben), Spremberg (Mitte) und Bräsinchen (unten)

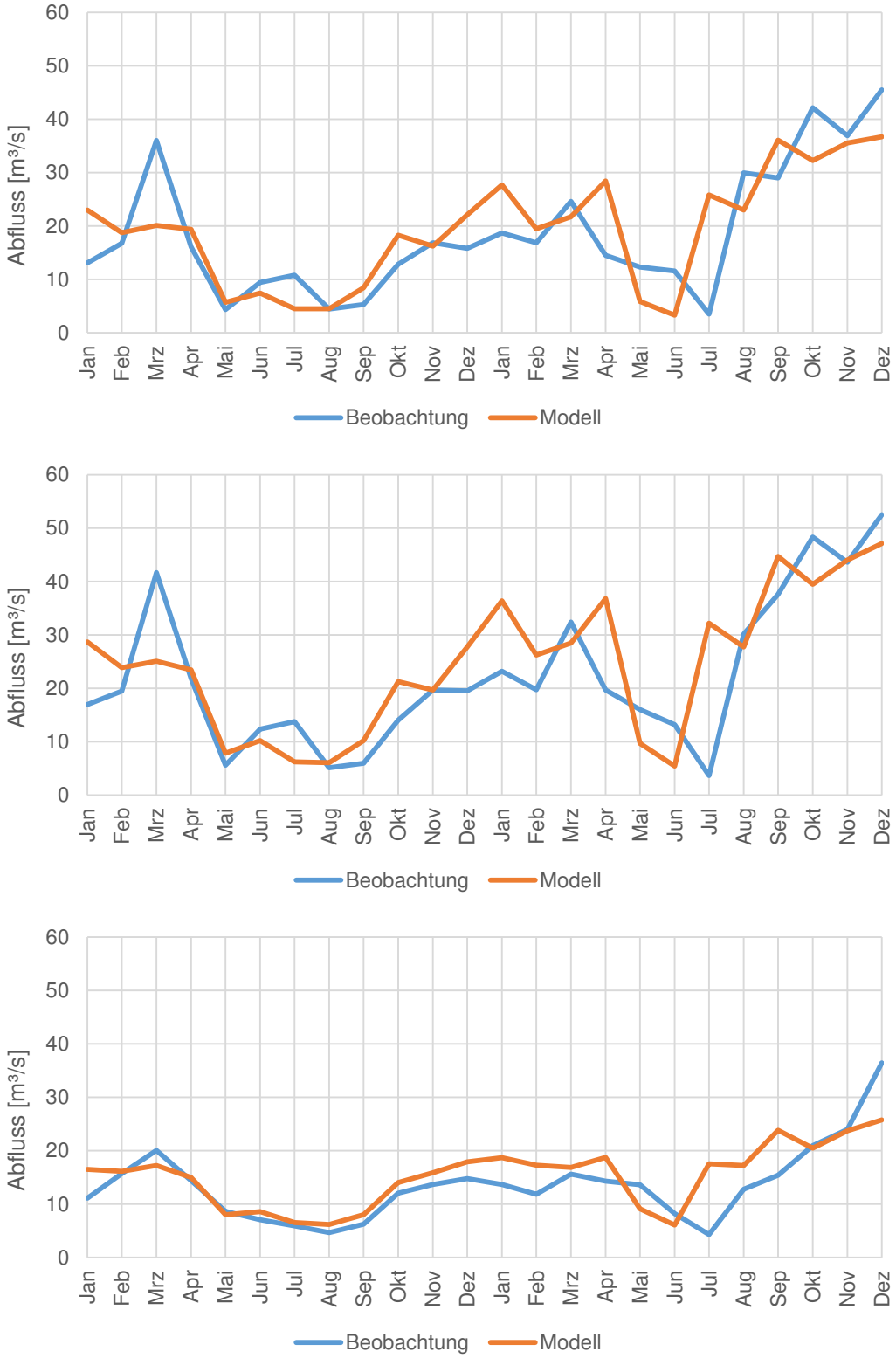


Abbildung 194: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Leibsch UP (oben), Beeskow (Mitte) und Große Tränke UP (unten)

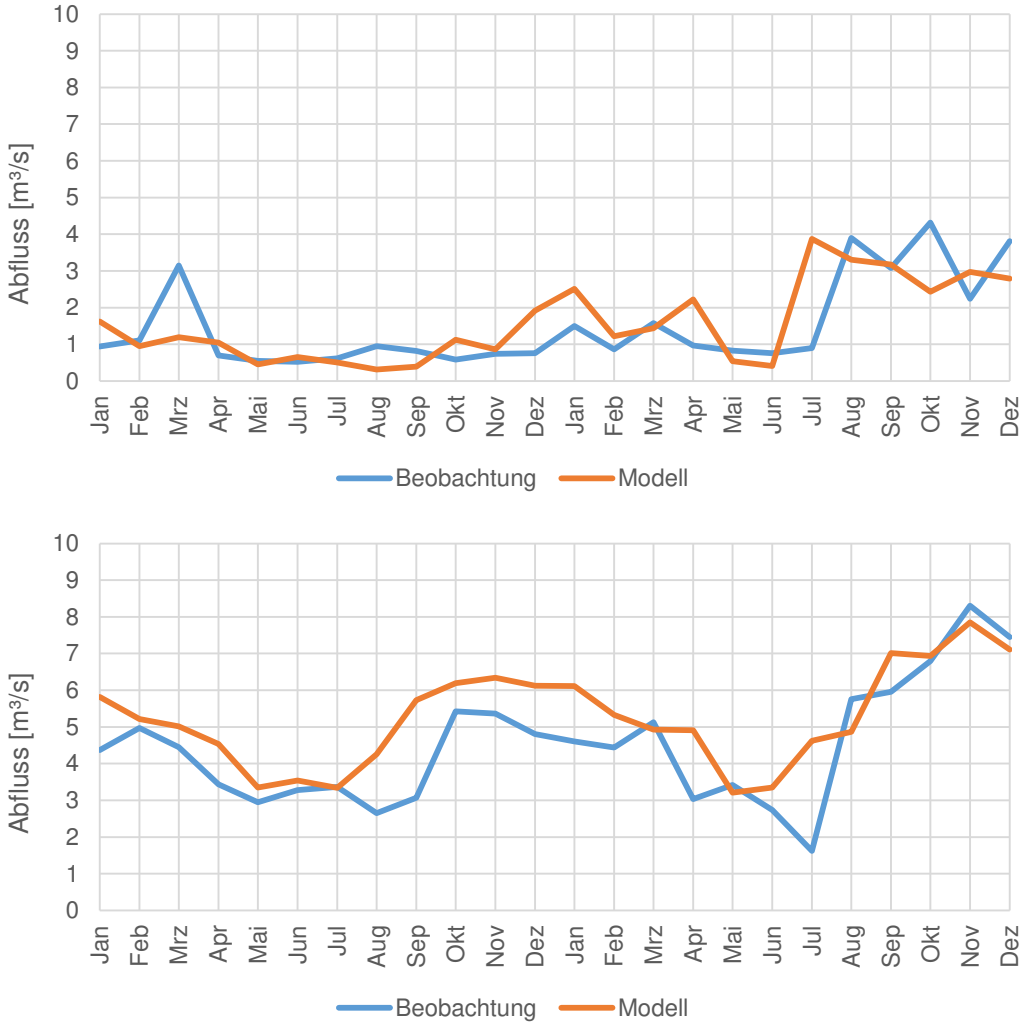


Abbildung 195: Modellabflüsse und beobachtete Abflüsse für den Beobachtungszeitraum und den Modellzeitraum für Sproitz (oben) und Fehrow/Malxe (unten)

4.2.4.3 Vergleich der Abflüsse im Flusslängsschnitt

Im Folgenden wurden für die einzelnen Monate Flusslängsschnitte für die Spree von Bautzen UP bis Große Tränke aufgestellt. In Tabelle 73 sind für die einzelnen Monate die Gütemaße NSE, mittlerer relativer Fehler und Korrelationskoeffizient enthalten.

Wie bereits aus den vorhergehenden Abbildungen und Tabellen ersichtlich, ist auch hier die Spannweite der erzielten Güte sehr hoch. Bezüglich des Gütemaßes NSE fallen auch hier die Monate Januar des ersten Jahres und Juli des zweiten Jahres mit sehr geringen Werten auf. Es sind aber auch 8 Monate enthalten, bei denen das Gütemaß NSE über 0,7 liegt. Bezüglich des mittleren relativen Fehlers sehen die Gütemaße etwas besser aus. Auch hier ist eine große Spannweite der Gütemaße zu erkennen, wobei aber in 13 Monaten die Abweichungen unter 30 % liegen. Beim Korrelationskoeffizienten müssen die Ergebnisse anders als beim NSE bzw. mittlerem relativen Fehler interpretiert werden. Hier werden in erste Linie nicht die Abweichungen zwischen beobachteten Abflüssen und Modellabflüssen analysiert, sondern das Verhalten zueinander. Das heißt, es werden hohe Korrelationskoeffizienten erzielt, wenn bei Zunahme der beobachteten Abflüsse auch die Modellabflüsse steigen. Hiermit kann gezeigt werden, dass auch bei abweichenden Abflüssen die Änderungen im Modell auf eine vergleichbare Weise wie bei den beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt erfolgen.

Tabelle 73: Güte der Übereinstimmung zwischen Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP

Beobachtete Abflüsse [Monat, Jahr]	Modellabflüsse [Monat, Jahr]	NSE [-]	Mittlerer relativer Fehler [%]	Korrelations-koeffizient [-]
1.2009	1.2010	-1,70	154	0,96
2.2009	2.2010	0,83	30	0,96
3.2009	3.2010	-0,29	47	0,91
4.2009	4.2010	0,82	27	0,98
5.2009	5.2010	0,20	47	0,89
6.2009	6.2010	0,81	17	0,92
7.2009	7.2010	0,20	29	0,68
8.2009	8.2010	0,66	20	0,84
9.2009	9.2010	0,27	32	0,69
10.2009	10.2010	0,31	27	0,97
11.2009	11.2010	0,97	10	0,98
12.2009	12.2010	0,11	53	0,96
1.2010	1.2011	-0,44	62	0,98
2.2010	2.2011	0,62	25	0,94
3.2010	3.2011	0,82	19	0,96
4.2010	4.2011	-1,77	69	0,96
5.2010	5.2011	-1,04	43	0,79
6.2010	6.2011	-0,38	43	0,81
7.2010	7.2011	-26,50	283	0,40
8.2010	8.2011	0,15	33	0,82
9.2010	9.2011	0,62	25	0,82
10.2010	10.2011	0,82	15	0,98
11.2010	11.2011	0,98	9	0,99
12.2010	12.2011	0,70	23	0,98

In Abbildung 196 sind für die Monate Januar bis Juni des ersten Jahres die Flusslängsschnitte der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP mit den beobachteten Abflüssen und den Modellabflüssen dargestellt. In Abbildung 197 folgen

die Auswertungen für die Monate Juli bis Dezember des ersten Jahres, in Abbildung 198 für die Monate Januar bis Juni des zweiten Jahres und in Abbildung 199 für die Monate Juli bis Dezember des zweiten Jahres.

Wie bereits anhand der Tabelle 73 ersichtlich existieren Monate, bei denen sehr gute Übereinstimmungen erzielt werden, aber auch Monate mit sehr hohen Abweichungen. Es fällt aber auf, dass in der Mehrzahl der Monate die Änderungen im Flusslängsschnitt der modellierten Abflüsse auch bei den beobachteten Abflüssen auftreten. Das heißt, dass die Abflusszunahme im Modell auf ähnliche Weise wie bei den beobachteten Abflüssen erfolgt. Liegen die Abflüsse in Bautzen UP sehr nah beieinander, ist das auch im weiteren Verlauf zu beobachten. Treten Abweichungen zwischen beobachteten Abflüssen und Modellabflüssen auf, sind im weiteren Flusslängsschnitt ebenfalls Abweichungen mit einer ähnlichen Tendenz vorhanden. Insgesamt können somit die Hydrologie sowie die Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln im WBalMo-Sulfatprognosemodell als plausibel angesehen werden.

Tendenziell die meisten Unterschiede werden durch die TS Spremberg und den Spreewald erzeugt. Zum Beispiel führen leicht abweichende Steuerungen der TS Spremberg zu Unterschieden im weiteren Flusslängsschnitt (Dezember des ersten Jahres in Abbildung 197) oder zur Angleichung der Abflüsse (Mai des zweiten Jahres in Abbildung 198). Diese und weitere Unterschiede in der Steuerung, die vermehrt im Herbst auftraten, können durch Arbeiten an der TS Spremberg begründet sein. Durch die Arbeiten wurde von der abgestimmten Bewirtschaftung abgewichen. Diese abweichenden Steuerungen können im Planungsmodell WBalMo Sulfatprognose nicht abgebildet werden. In den anderen Monaten kann mehrheitlich eine ähnliche Steuerung beobachtet werden, wie sie im Modell abgebildet wurde. Insgesamt erscheint die Steuerung im WBalMo Sulfatprognosemodell der TS Spremberg als plausibel.

Weitere Abweichungen sind vor allem im Bereich des Spreewalds zu beobachten. Diese treten z. B. im Mai und September des ersten Jahres (Abbildung 196 und Abbildung 197), sowie im Juni und Juli des zweiten Jahres auf (Abbildung 198 und Abbildung 199). Hier zeigt sich die allgemeine Schwierigkeit, den gesamten Spreewald mit seine unterschiedlichen Fließen und seiner Vielzahl von Wehren und individuellen Steuerungen zu jeder Zeit korrekt wiederzugeben. Anderseits ist aber auch zu erkennen, dass trotz dieser Schwierigkeiten in der Mehrzahl der Monate die eintretenden Änderungen vom WBalMo-Sulfatprognosemodell gut umgesetzt werden. Die vergleichsweisen großen beobachteten Durchflussänderungen zwischen Bräsinchen und Leibsch UP werden durch das Modell in einem ähnlichen Umfang nachgebildet. Somit erscheinen die berücksichtigten Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln im Spreewald, sowie auch die Wasserverluste des Spreewalds selber, im WBalMo-Sulfatprognosemodell als plausibel.

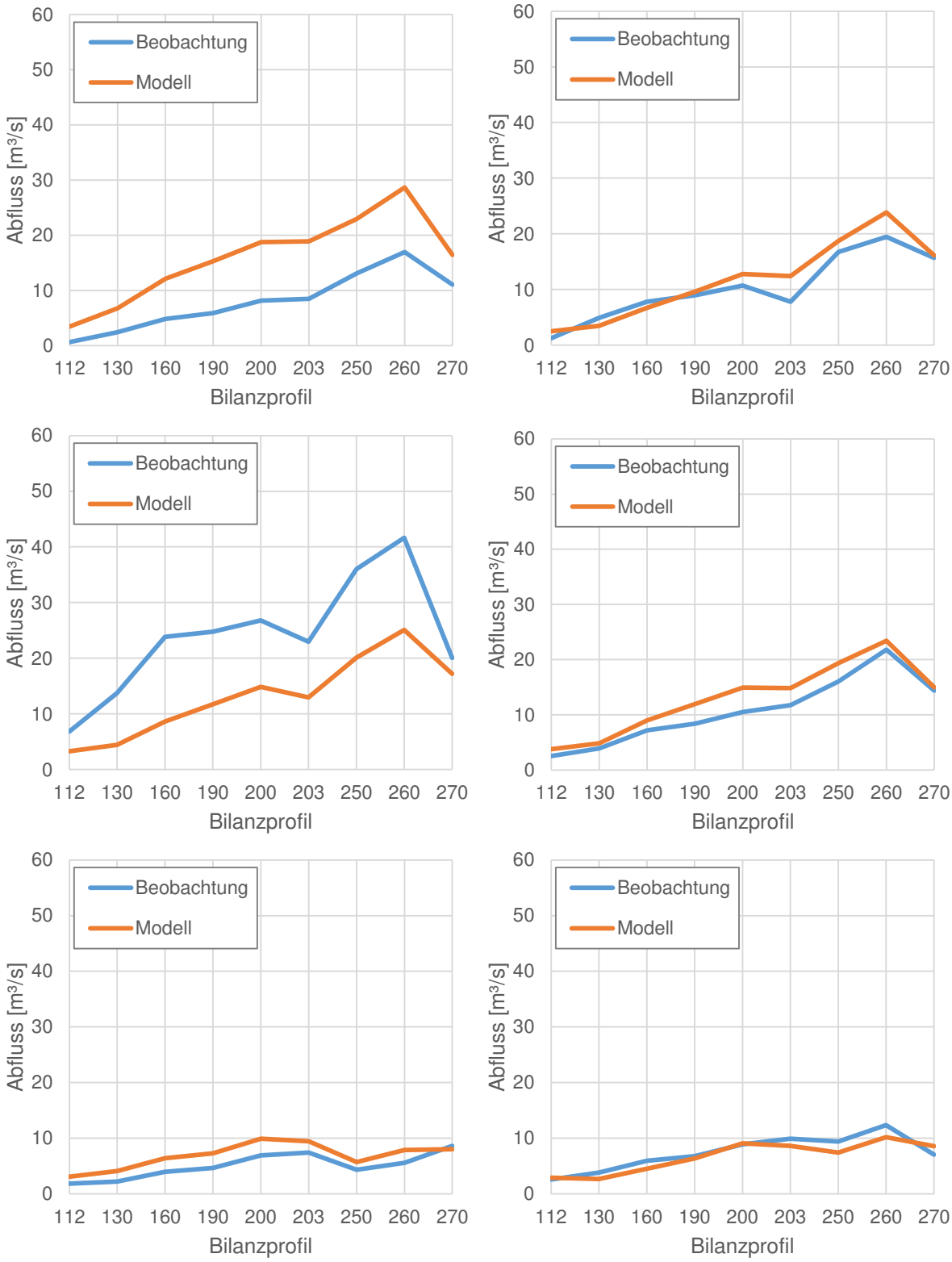


Abbildung 196: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Januar bis Juni des ersten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)

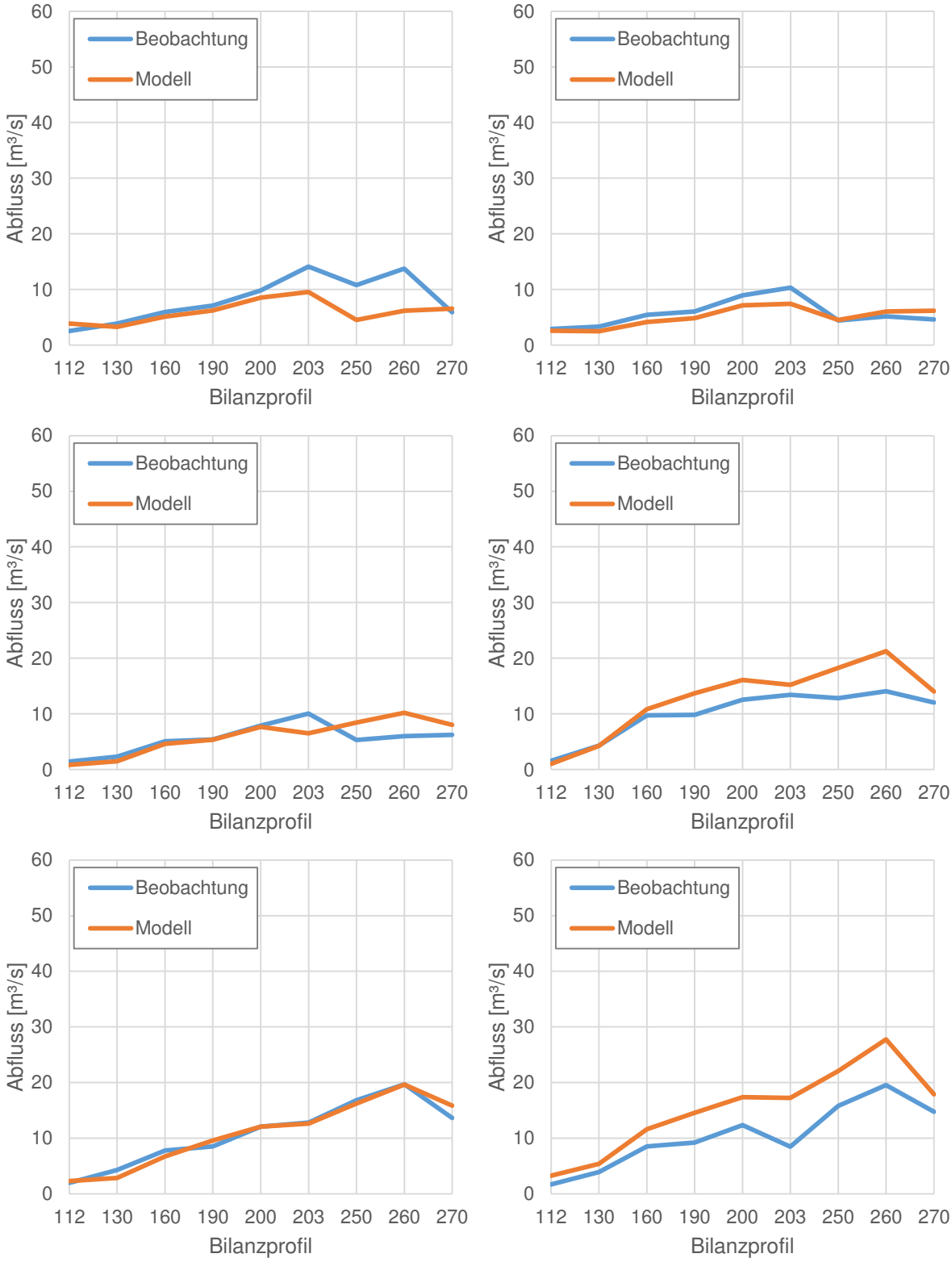


Abbildung 197: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Juli bis Dezember des ersten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)

Abbildung 198: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Januar bis Juni des zweiten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)

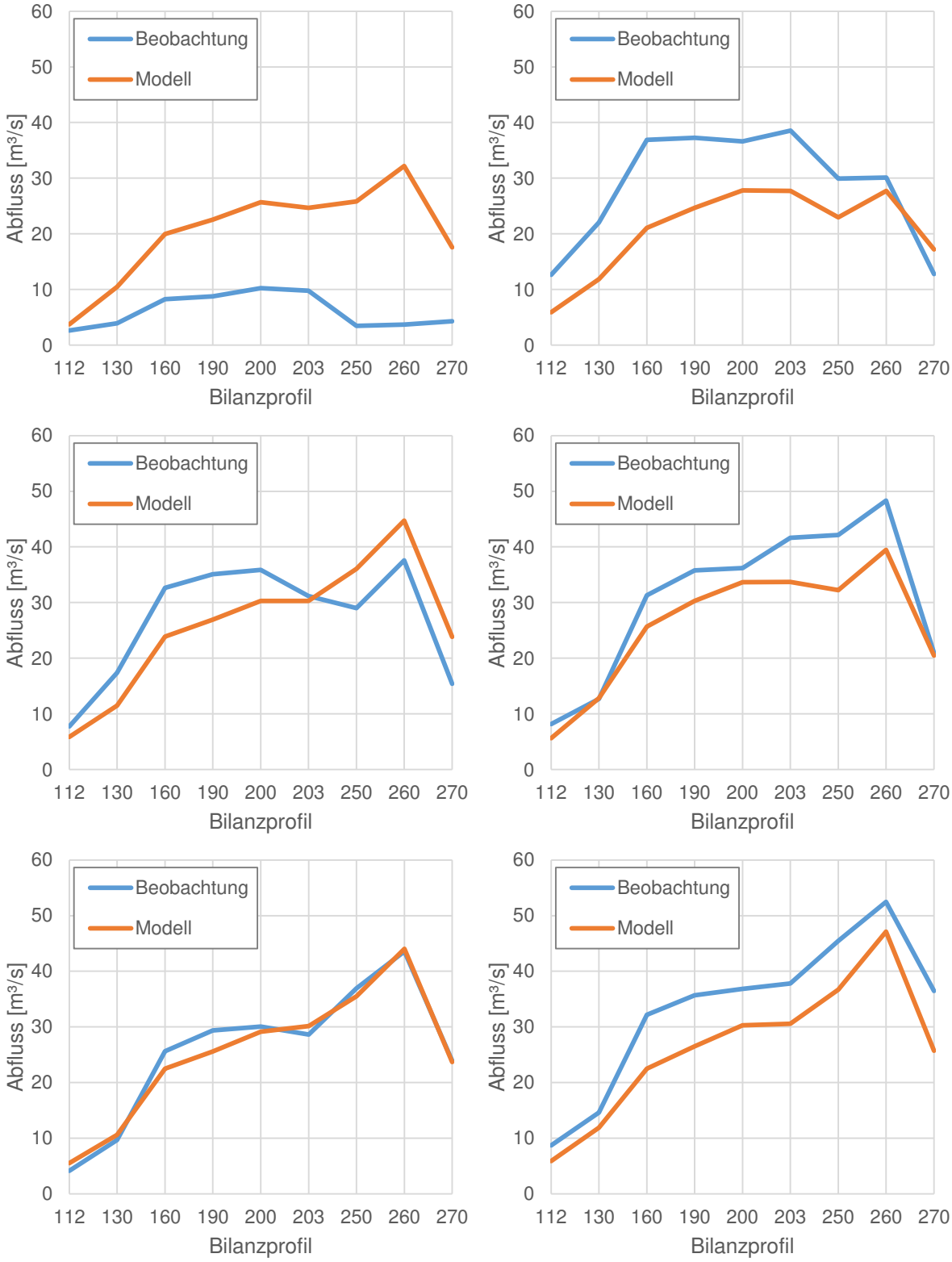


Abbildung 199: Modellabflüssen und beobachteten Abflüssen im Flusslängsschnitt der Spree zwischen Bautzen UP und Große Tränke UP für Juli bis Dezember des zweiten Vergleichsjahres (von links nach rechts und oben nach unten)

4.2.4.4 Vergleich der Speicherinhalte

Ein weiterer Punkt um die Güte im Spreegebiet einzuschätzen, ist zu zeigen, dass die Bewirtschaftung im Vergleichszeitraum ähnlich erfolgt. Hierfür wurden die Speicherinhalte der Talsperre Bautzen (Abbildung 200), der Talsperre Quitzdorf (Abbildung 201) und der Talsperre Spremberg (Abbildung 202) verglichen.

Bei der Talsperre Bautzen ist ein ähnliches verhalten zwischen gemessenen und modellierten Speicherinhalten zu beobachten. Aufgrund der hohen Wasserverfügbarkeit im Spreegebiet im Vergleichszeitraum sind auch nur geringe Inhaltsänderungen festzustellen. Im Sommer des ersten Jahres erfolgen Speicherabgaben von ca. 5-7 Mio.m³. Anschließend erfolgt die Reservebildung, wobei diese im WBalMo im Oktober abgeschlossen ist und bei den beobachteten Inhalten noch bis in das Frühjahr des zweiten Jahres andauert. Im zweiten Jahr wird im WBalMo Sulfatprognosemodell nur im Juni eine Abgabe realisiert, wobei im Folgemonat bereits die Auffüllung erfolgen kann. Bei den beobachteten Speicherinhalten erfolgen dagegen keine nennenswerten Abgaben.

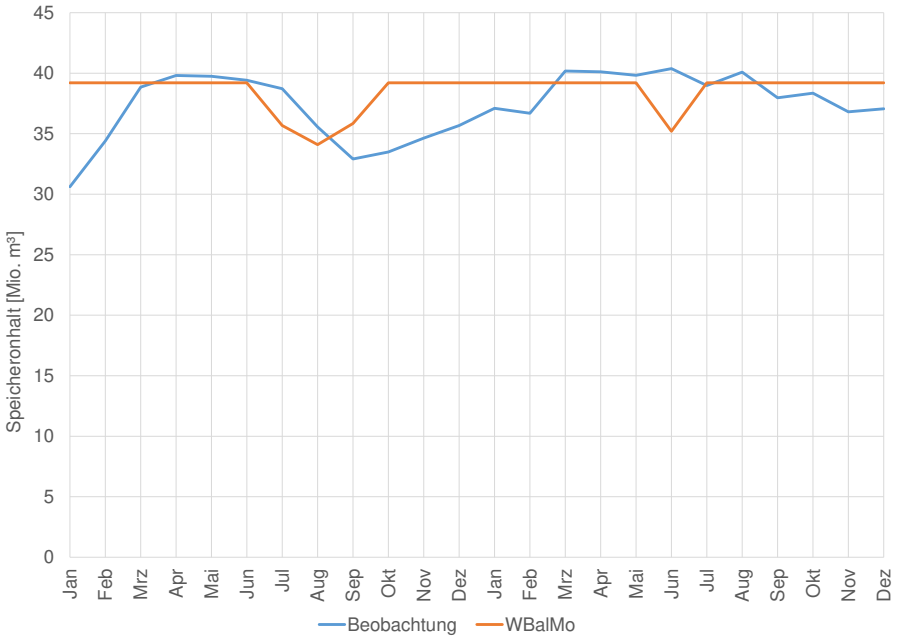


Abbildung 200: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Bautzen

Bei der Talsperre Quitzdorf ist grundsätzlich ein ähnliches Verhalten wie bei der Talsperre Bautzen zu beobachten. In beiden Jahren werden im WBalMo Sulfatprognosemodell Abgaben realisiert, wogegen bei den gemessenen Speicherinhalten nur im ersten Jahr Abgaben beobachtet werden.

Insgesamt kann für beide Talsperren Bautzen und Quitzdorf geschlussfolgert werden, dass aufgrund der hohen Wasserverfügbarkeit die Talsperren nur für geringe Abgaben herangezogen werden mussten.

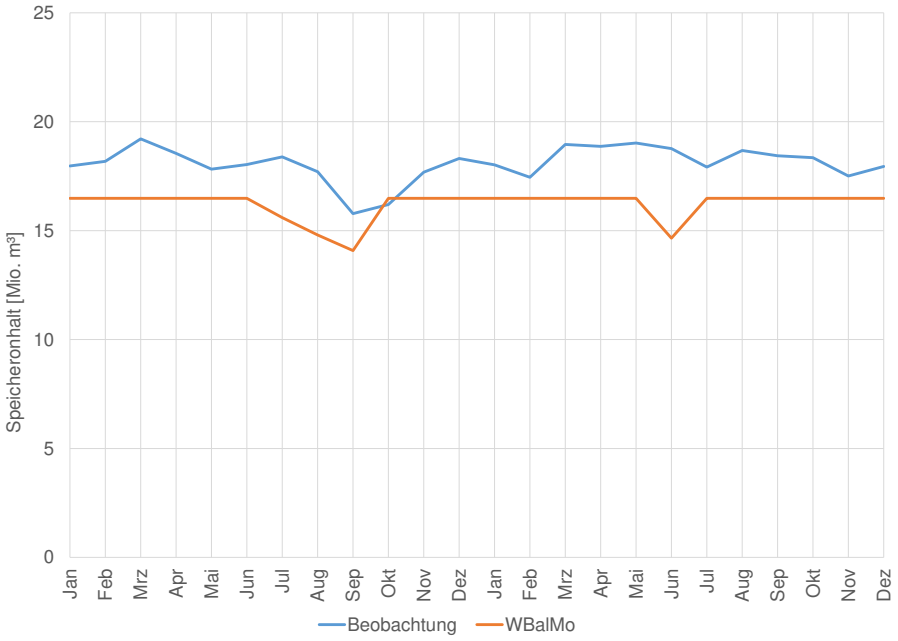


Abbildung 201: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Quitzdorf

Bei der Talsperre Spremberg sind die Unterschiede zwischen gemessenen und modellierten Speicherinhalten dagegen größer. Bis zum August des ersten Jahres sind die Speicherinhalte noch vergleichbar. Anschließend zeigen die beobachteten Daten, dass die Abgaben fortgesetzt wurden, wogegen im WBalMo Sulfatprognosemodell keine mehr erfolgen. Diese Abweichungen setzten sich auch bis zum Oktober des zweiten Jahres fort, bis beide Speicherinhalte wieder ähnliche Werte aufweisen. Diese aufgezeigten Abweichungen sind aber nicht auf abweichende Bewirtschaftungsregeln zurückzuführen, sondern auf Bau- und Sanierungsarbeiten an der Talsperre. So wurde z. B. im Herbst 2009 für die Installation von neuen Druckmesssonden im Bereich des Staudammes der Wasserstand des Stausees um etwa zweieinhalb Meter auf 89,20 Meter NN abgesenkt (LfU TS Spremberg, Aufruf 1.3.2017). Solche Maßnahmen sind aber in einem Prognosemodell nicht abbildbar. Der Einfluss dieser Abweichungen zwischen gemessenen und modellierten Speicherinhalten kann ebenfalls in Abbildung 193 und Abbildung 197 beobachtet werden. Dort führen die höheren Abgaben der Talsperre Spremberg zu höheren Abflüsse unterhalb der Talsperre und verursachen somit höherer Unterschiede. Somit konnte für die Talsperre Spremberg gezeigt werden, dass die aufgezeigten Unterschiede nicht unplausibel, sondern auf kurzfristige Maßnahmen zurückzuführen sind, die von der Langzeitbewirtschaftung abweichen.

Insgesamt zeigen die dargestellten Speicherinhalte, dass die Talsperrensteuerung des WBalMo Sulfatprognosemodells mit den beobachteten Steuerungen der Talsperren verglichen werden kann. Somit konnte gezeigt werden, dass die Beeinflussung der Abflüsse durch die Talsperrenabgaben im Spreegebiet für den Vergleichszeitraum plausibel ist.

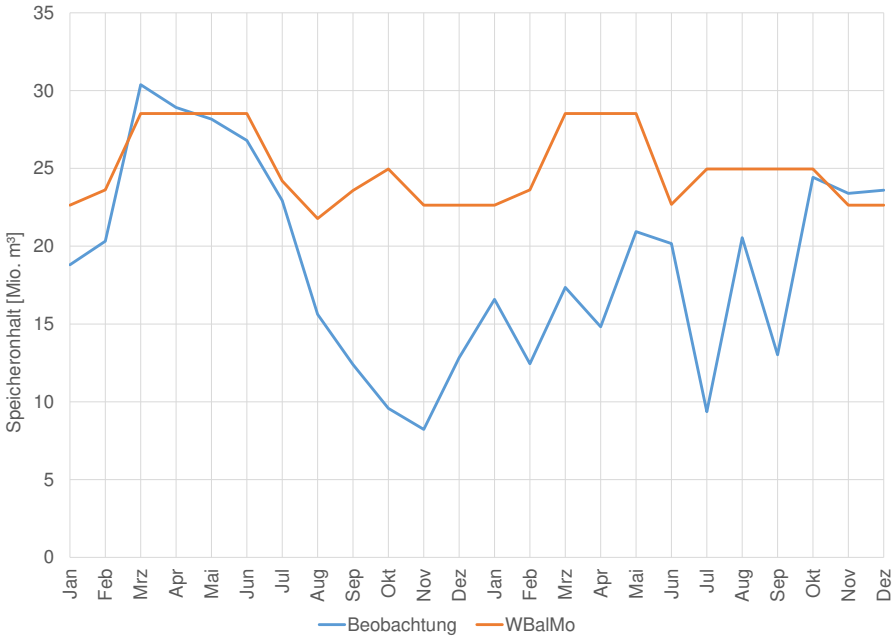


Abbildung 202: Beobachtete Speicherinhalte und Speicherinhalte aus WBalMo der Talsperre Spremberg

4.2.4.5 Vergleich der Flutungsmengen

Ein weiterer wesentlicher Aspekt für die Güte des WBalMo Sulfatprognosemodells sind die Flutungswassermengen im Spreegebiet. In Abbildung 203 sind die beobachteten und modellierten Flutungsmengen von Bärwalde, Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer für die beiden Vergleichsjahre dargestellt.

Hierbei ist eine Reihe von Auffälligkeiten zu beobachten. Zum einen wird durch die FZL eine bedeutend höhere Flutungswassermenge für Bärwalde angegeben, als im WBalMo Sulfatprognosemodell realisiert wird. Ein umgekehrtes Verhalten ist es dagegen bei Burghammer zu beobachten. Bei Dreiweibern und Lohsa II sind die Unterschiede nicht so stark ausgeprägt.

Der größte Unterschied ist bei der Flutungswassermenge für Bärwalde festzustellen. Dieser Tagebaurestsee hatte im Jahr 2009 erstmals sein Maximalstauziel erreicht, womit die eigentliche Flutung abgeschlossen war. Im WBalMo Sulfatprognosemodell werden ab diesem Zeitpunkt nur die Verluste (Grundwasserabstrom) ausgeglichen, aber noch keine Speicherbewirtschaftung vorgenommen (Probestauphase 2). Anhand von Daten der FZL war aber zu beobachten, dass 2009 noch etwa 10 Mio.m³ bis zum Vollstau fehlten. Einschließlich einer angenommenen Versickerung von maximal 5 Mio.m³ wären somit maximal noch 15 Mio. m³ aufzufüllen gewesen. Damit zeigt sich, dass es bereits nach der Flutung auch Abgaben getätigt wurden, die in der Langfristplanung so nicht vorgesehen waren. Auch 2010 wurden Speicherabgaben vorgenommen, die wiederum durch Flutungswasser aus der Spree ausgeglichen wurde. Insgesamt wurde auf diese Weise in beiden Jahren ähnlich viel Wasser nach Bärwalde geleitet aber auch zum Großteil wieder abgegeben. Im WBalMo Sulfatprognosemodell wurden die von der Langfristplanung abweichenden Steuerungen nicht nachvollzogen. Das heißt auch, dass Änderungen die in der Vergangenheit liegen und keinen Einfluss auf die Langfristplanung haben, im WBalMo Sulfatprognosemodell nicht nachgeführt werden. Insgesamt lassen sich somit die unterschiedlichen Flutungswassermengen erklären. Ein Einfluss auf die Abflüsse in der Spree können somit in einzelnen Monaten auftreten, gleich sich über das Jahr aber

aus, da Entnahmen aus der Spree und Abgaben in die Spree in etwa gleicher Größenordnung erfolgten.

Ebenfalls bedeutende Unterschiede treten bei den Flutungswassermengen von Burghammer auf. Dieser Tagebaurestsee hatte im Jahr 2009 erstmals sein Maximalstauziel erreicht, womit die eigentliche Flutung abgeschlossen war. Mit der Fertigstellung der Überleitung von der Kleinen Spree nach Burghammer sollte anschließend eine Spülung von Burghammer stattfinden. Aufgrund des Genehmigungsverfahrens dauerte es aber bis Ende 2010 bis u. a. die Überleitung genehmigt wurde. Insgesamt konnte somit nur über einen kurzen Zeitraum innerhalb des Vergleichszeitraums Überleitungen realisiert werden. Im WBalMo Sulfatprognosemodell wurden die von der Planung abweichenden Überleitungen im Nachgang für die Vergangenheit ebenfalls nicht nachvollzogen. Somit wird im Modell für den Zeitraum ab der ersten Vollfüllung eine Spülung angesetzt. Insgesamt hat diese Spülung keinen Einfluss auf die Abflüsse im Spreelängsschnitt. Das übergeleitete Wasser wird nicht eingespeichert und steht oberhalb der Mündung der Kleinen Spree in die Spree wieder vollständig zur Verfügung.

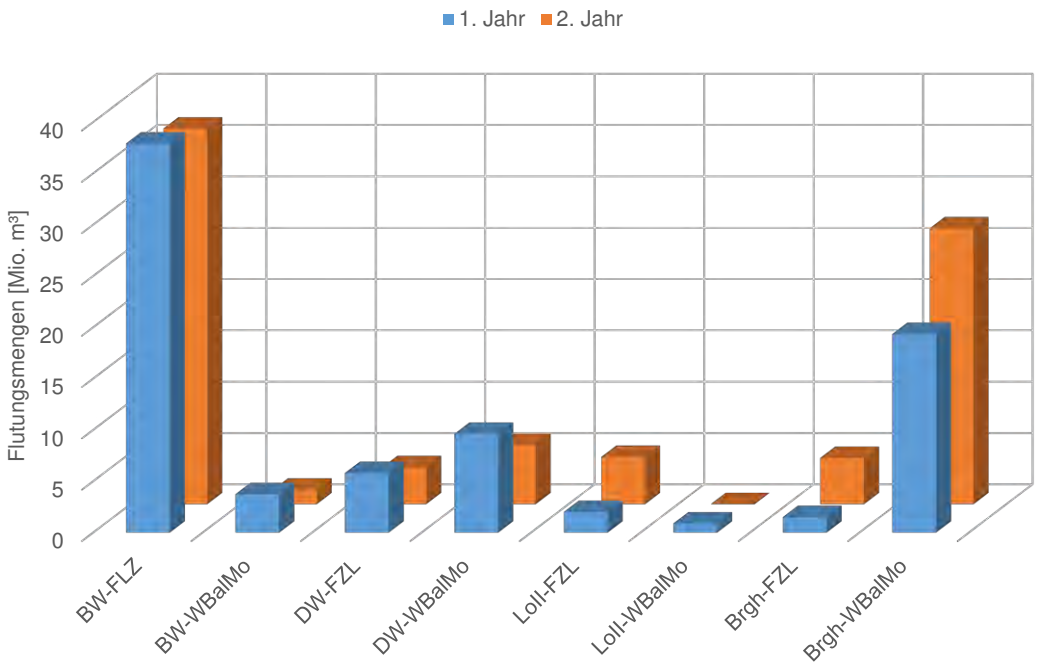


Abbildung 203: Beobachtete (FZL) und modellierte Flutungsmengen (WBalMo) von Bärwalde (BW), Dreiweibern (DW), Lohsa II (LoII) und Burghammer (Brgh) für die beiden Vergleichsjahre

Zusammenfassend konnte mit dem Vergleich zwischen den Speicherinhalten und den Flutungswassermengen gezeigt werden, dass mit dem WBalMo Sulfatprognosemodell plausible Ergebnisse produziert werden. Auch wenn bei einigen Vergleichen Unterschiede auftraten, konnte nachgewiesen werden, dass diese nicht auf falsche Planungen zurückzuführen sind, sondern auf Ausnahmeregelungen die in der Langfristplanung nicht abgebildet werden können.

4.2.5 Zusammenfassung zur Güte des Mengenmodells

Wie bereits in der Einleitung zu diesem Abschnitt beschrieben, ergibt sich die Güte des Modellkomplexes in Bezug auf die Wassermenge aus der Anpassungsgüte des stochastischen meteorologischen Modells SIKOSIMO, der Güte der Kalibrierung des

NAM-EGMO und der Güte der Übereinstimmung der Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln. In den Abschnitten 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 und 4.2.4 konnte gezeigt werden, dass die einzelnen Komponenten die erforderliche Güte aufweisen, bzw. auf dem aktuellen Stand sind. Auch wurde durch eine Verifizierung des Modells durch Nachrechnungen gezeigt, dass eine „akzeptierbare Übereinstimmung zwischen den Ergebnissen“ des im Modell „implementierten Bewirtschaftungsalgorithmus und den beobachteten Gebietszuständen erzielt wurde“.

Ergänzend zu den bereits vorliegenden Untersuchungen wurde mit den WBalMo Sulfatprognosemodell eine weitere Methode zum Nachweis der Güte durchgeführt. Hierbei wurde eine vollständige und direkte Anwendung aller Eingangsdaten und der Algorithmen in Erweiterungsmodulen des WBalMo Sulfatprognosemodells vorgenommen. Natürlich konnten keine perfekte Übereinstimmung mit beobachteten Daten hergestellt werden, was auf mehrere Gründe zurückzuführen ist. Zum einen ist es beim Vergleich mit stochastisch generierten Abflüsse auch bei 100 Realisierungen schwierig einen Ausschnitt zu finden, der über 2 Jahre genau den beobachteten Abflüssen entspricht. Des Weiteren kann nicht jede von der langfristigen Planung abweichende Kurzfriststeuerung mit einen Planungsmodell nachgebildet werden. Auch ist es nicht praktikabel, alle in der Vergangenheit aufgetretenen Abweichungen von der Planung nachzuvollziehen, wenn sie nicht in der langfristigen Planung vorgesehen sind. Das wurde auch bei diesem Vergleich nicht durchgeführt und kann auch nicht die Zielstellung eines Prognosemodells sein. Andernfalls würde ein entsprechendes Modell derart abgeändert werden, dass es die eigentliche Aufgabe der Prognose von Wassermenge und –güte nicht mehr gerecht wird.

Im Ergebnis dieser Untersuchungen konnten die Ergebnisse der bereits vorliegenden Untersuchungen bestätigt und gezeigt werden, dass die Hydrologie sowie die Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln im WBalMo Sulfatprognosemodell als plausibel angesehen werden können.

4.3 Güte des Sulfatprognosemodells

Zum Nachweis der Modellgüte des Sulfatprognosemodells dienen folgende Szenarien:

1. IST-Szenario: Diesem Szenario liegen – soweit bekannt - gemessene Volumenströme zugrunde. Die berechneten Sulfatkonzentrationen werden mit den gemessenen – soweit vorhanden – verglichen. Details und Ergebnisse sind im folgenden Abschnitt 4.3.1 beschrieben.
2. Prognoseszenarien: Diesen Szenarien liegen unterschiedliche Annahmen zur sulfatbezogenen Bewirtschaftung der Talsperren, Speicher und Überleitungen zugrunde. Details und Ergebnisse sind im Abschnitt 4.3.2 dargestellt.

Das Sulfatprognosemodell ist als valide und plausibel einzuschätzen, wenn berechnete Sulfatkonzentrationen mit den gemessenen übereinstimmen und die Ergebnisse der Prognoseszenarien plausible Unterschiede aufweisen.

4.3.1 Güte des Sulfatprognosemodells für den IST-Zustand

Das Szenario umfasst den Zeitraum von Januar 2013 bis Dezember 2015. In diesem Zeitraum liegen konsistente Verhältnisse von Niveau und Schwankungsbereich der gemessenen Sulfatkonzentrationen vor. Darüber hinaus liegen zu allen Einträgen Daten vor. Trotz dieser Zwangspunkte wird eingeschätzt, dass dieser Zeitraum von 3 Jahren ausreichend lang ist, um die Fähigkeit des Sulfatprognosemodells zu prüfen, auch bei unterschiedlichen Abfluss- und Wasserstandssituationen korrekte Sulfatprognosen zu berechnen.

4.3.1.1 Südraum bis Spremberg-Wilhelmsthal/Spree

Als wesentlich für die Prognosefähigkeit des Gesamtmodells ist die Wiedergabe der Entwicklung der Sulfatkonzentration im WSS Lohsa II anzusehen, da dieses Speichersystem Aufgaben der überregionalen Wasserbereitstellung und Niedrigwasserbewirtschaftung erfüllen soll.

Entsprechend der Fließrichtung des Oberflächen- und Grundwassers im WSS Lohsa II beginnt die Analyse mit dem Teilbecken SB Lohsa II. Die Volumenentwicklung im SB Lohsa II wird durch folgende gemessene Volumenströme vorgegeben:

- Vorflut Lippen,
- Überleitung vom SB Dreiweibern,
- Überleitung von der Spree.

Im betrachteten Zeitraum erfolgte keine Ausleitung aus Sulfateintragsmodul SB Lohsa II zum SB Burghammer.

Darüber hinaus wird durch das Sulfatprognosemodell berechnet:

- Grundwasserbilanz.

Sie setzt sich aus den Teilströmen des verbesserten Hysteresemodells zusammen (vgl. Abschnitt 2.2.1.3).

In der folgenden Abbildung werden die genannten Volumenströme sowie das sich daraus ergebende Volumen dargestellt und den korrespondierenden gemessenen Inhaltswerten gegenübergestellt.

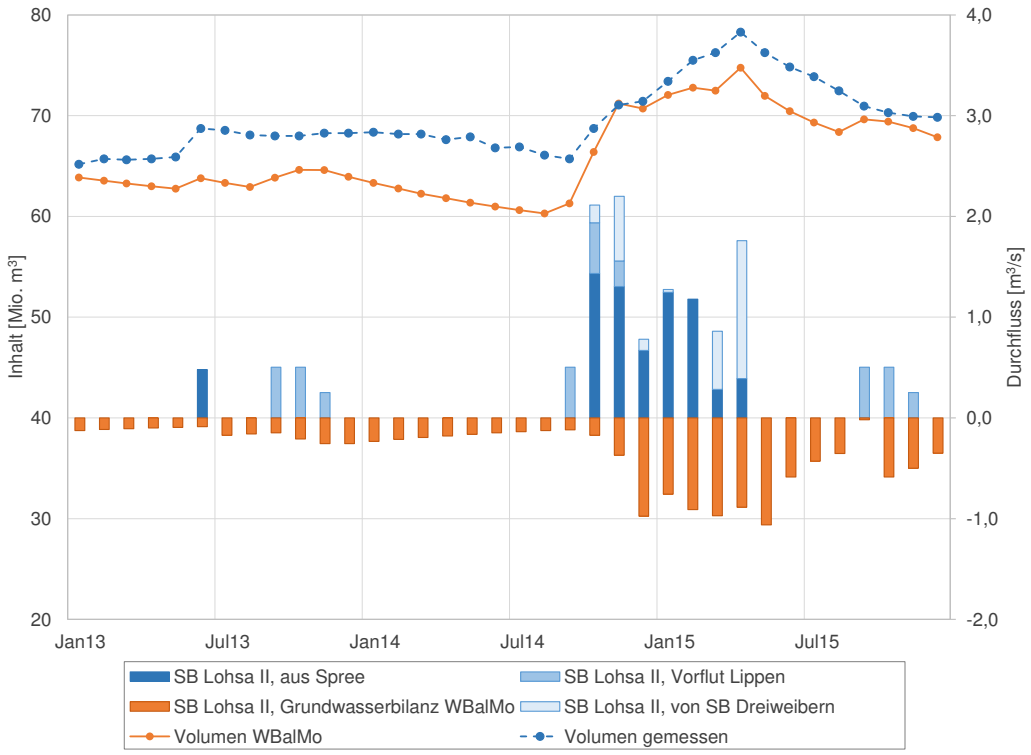


Abbildung 204: Simulationsgüte Volumen SB Lohsa II (IST-Szenario)

Die berechneten Volumina folgen stets der Dynamik der gemessenen Inhaltswerte, liegen jedoch z. T. bis ca. 6 Mio. m³ darunter. Da man davon ausgehen kann, dass die gemessenen Volumenströme aus dem Oberflächenwasser zuverlässig sind, ergibt sich

allerdings für die Bewertung der Simulationsergebnisse wie auch der gemessenen Inhaltswerte kein einheitliches Bild: Scheinen bis August 2014 die Grundwasserverluste zu hoch berechnet, müssten sie im unmittelbar anschließenden Zeitraum kleiner als berechnet sein, um der Dynamik der gemessenen Werte zu folgen. Demgegenüber legt das deutliche Überschreiten des (angenommenen) Gleichgewichtswasserstandes eine signifikante Erhöhung nahe. Die Dynamik der gemessenen Inhaltswerte weicht trotz vergleichbarer Wasserstände und Oberflächenwasserbilanz zwischen Juni 2013 einerseits und September wie auch Oktober 2013 andererseits deutlich voneinander ab. Demgegenüber ist die Änderung der Inhalte im Juni 2013 und Oktober 2014 ähnlich, während sich bei vergleichbaren Wasserständen die Summe der Oberflächenwasserzuflüsse deutlich unterscheidet.

Insgesamt hängt damit die Qualität der Berechnung der Volumina vorwiegend von der Güte des Hysteresemodells ab. Zu seiner Verbesserung wurden umfangreiche zusätzliche Arbeiten durchgeführt (vgl. Abschnitt 2.2.1.3, z. B. Abbildung 31). Über den gesamten Zeitraum der zur Verfügung stehenden Daten zum SB Lohsa II (2008-2016) wurden optimale Ergebnisse erreicht. Eine weitere Verbesserung erfordert die Prüfung aller Messdaten, eine automatisierte Kalibrierung der großen Anzahl von Parametern der Hysteresemodelle sowie die Einbeziehung von Bilanzergebnissen für die Teilströme aus Grundwassermodellen.

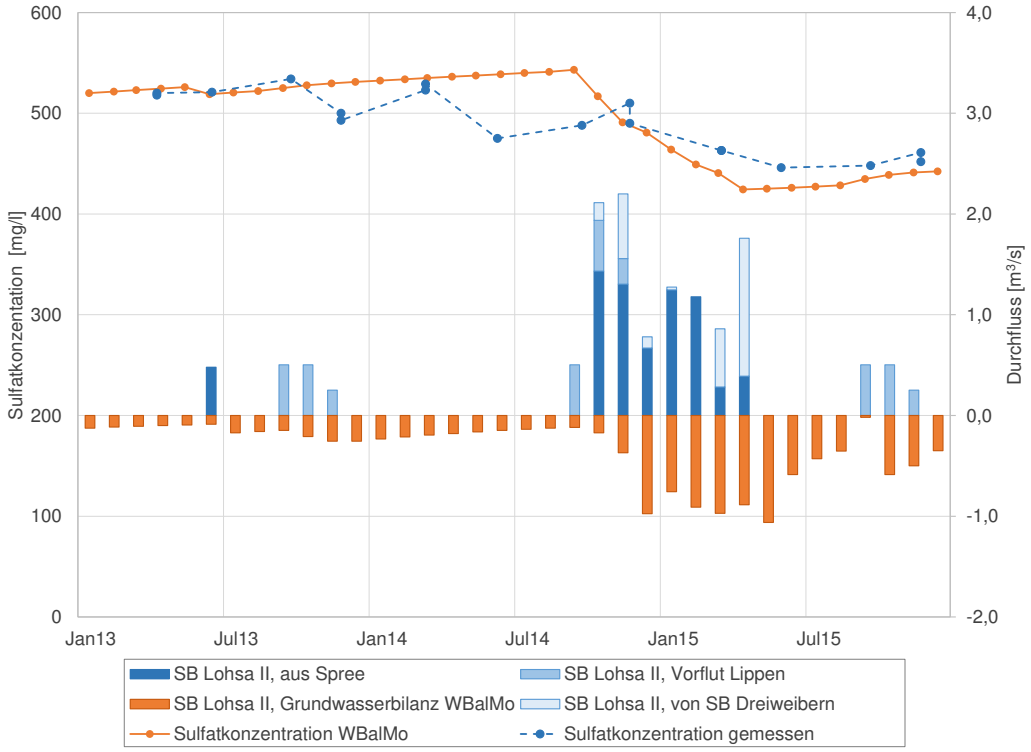


Abbildung 205: Simulationsgüte Sulfatkonzentration SB Lohsa II (IST-Szenario)

Auf der Basis der Volumenströme und der den Teilströmen zugeordneten Sulfatkonzentrationen (vgl. Tabelle 28) ergibt sich die in Abbildung 205 gezeigte Sulfatkonzentration im SB Lohsa II. Die Dynamik der berechneten Sulfatkonzentrationen korrespondiert sehr gut mit den Volumenströmen, insbesondere den von der Spree zugeführten Wassermengen mit geringen Sulfatkonzentrationen aber auch mit der Vorflut Lippen, deren Sulfatkonzentration bei 590 mg/l liegt (vgl. Tabelle 28). Vor diesem Hintergrund kann die Simulation der Sulfatkonzentration im SB Lohsa II sehr zufriedenstellen. Insbesondere die Wirkung der Spülung wird adäquat wiedergegeben.

Die Veränderung der gemessenen Sulfatkonzentrationen bis einschließlich November 2015 scheinen anhand der gemessenen Volumenströme und ihrer Sulfatkonzentrationen nicht immer nachvollziehbar, z. B. die Fluktuationen 2013 und 2014 sowie der Anstieg im November 2015 trotz Spülung im Oktober und November. Allerdings kann kein einfacher direkter Zusammenhang zwischen monatlicher Spülungsmenge aus der Vorflut und als Tageswert gemessener Sulfatkonzentration angenommen werden. Darüber hinaus haben z. B. die thermischen Prozesse Stagnation und Zirkulation im Seekörper maßgebliche Wirkung auf die an einer Messstelle zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessene Sulfatkonzentration.

Die Simulationsgüte für das SB Burghammer ist als vergleichbar der des SB Lohsa II zu bewerten. Die Volumenentwicklung im SB Burghammer wird durch folgende gemessene Volumenströme vorgegeben:

- Spülung aus der Kleinen Spree,
- Überleitung vom TRS Scheibe,
- Abgabe in die Kleine Spree.

Darüber hinaus wird durch das Sulfatprognosemodell berechnet:

- Grundwasserbilanz.

Sie setzt sich aus den Teilströmen des verbesserten Hysteresemodells zusammen (vgl. Abschnitt 2.2.1.3).

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung der Volumenströme und Volumina.

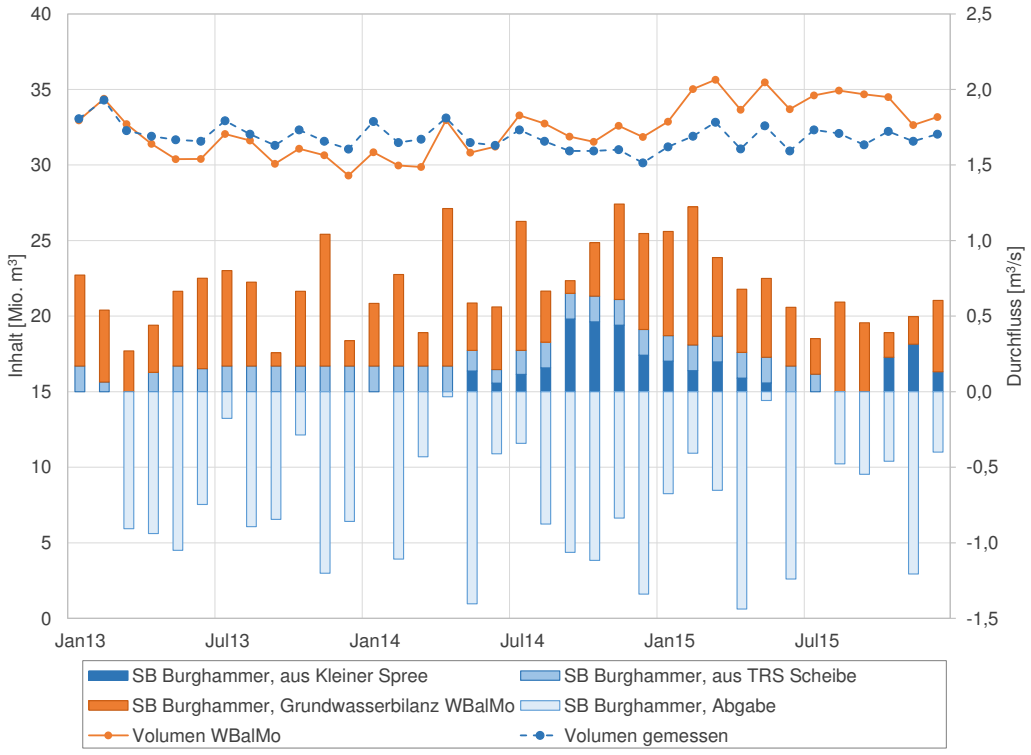


Abbildung 206: Simulationsgüte Volumen SB Burghammer (IST-Szenario)

Auch hier kann man davon ausgehen, dass die gemessenen Volumenströme aus dem Oberflächenwasser zuverlässig sind. In der ersten Hälfte des Zeitraumes ergeben sich etwas zu geringe Volumina: Bei fehlenden Zuflüssen aus der Kleinen Spree und nahezu gleichbleibenden monatlichen Abgaben gleichen die berechneten Grundwasserzuflüsse

im Mai, September und Dezember 2013 die Abgaben nicht aus. Demgegenüber sind die berechneten Volumina ab 2015 größer als gemessen: Insbesondere im November 2014 und Februar 2015 steigen infolge der berechneten Grundwasserströme die Wasserstände bzw. Volumina schneller als gemessen. Generell ist der Anstieg der berechneten Grundwasserzuflüsse plausibel, da im SB Lohsa II der Wasserstand durch die Spreezuflüsse steigt.

Die zusätzlichen Arbeiten zur Verbesserung der Hysteresemodelle (vgl. Abschnitt 2.2.1.3, z. B. Abbildung 32) zeigen für den deutlich größeren als hier betrachteten Zeitraum aber eine optimale Wahl ihrer Parameter. Zu den deshalb erforderlichen Arbeiten treffen die Ausführungen oben zum SB Lohsa II gleichermaßen auf das SB Burghammer zu.

Die Entwicklung der berechneten Sulfatkonzentration im SB Burghammer zeigt die nachfolgende Abbildung 207.

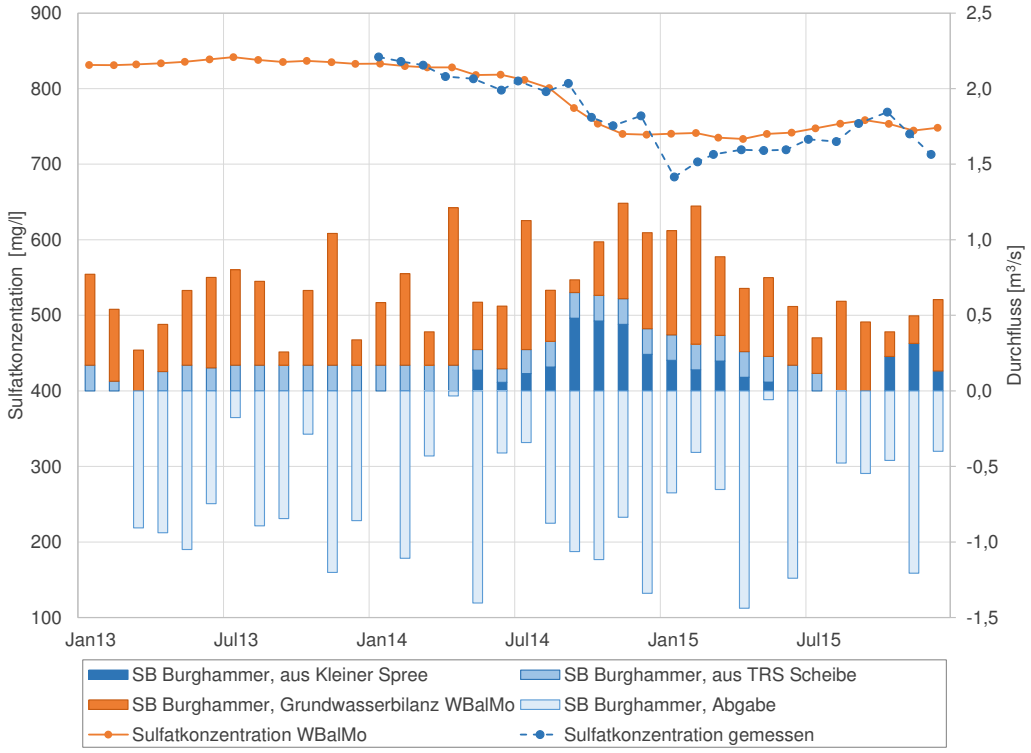


Abbildung 207: Simulationsgüte Sulfatkonzentration SB Burghammer (IST-Szenario)

Während die Zufuhr von Wasser aus der Kleinen Spree ein Absinken der Sulfatkonzentration bewirkt, zeigt die berechnete Sulfatkonzentration ein langsames Ansteigen beim Wegfall der Spülungsmenge, da die Grundwasserzuflüsse bis zu ca. 1100 mg/L Sulfatkonzentration aufweisen (vgl. Tabelle 29), mindestens aber 630 mg/L. Die Entwicklung der berechneten Sulfatkonzentration zeigt, dass eine Mindestspülmenge erforderlich ist, um die Sulfatkonzentration im SB Burghammer nicht ansteigen zu lassen.

Die Entwicklung der gemessenen Sulfatkonzentration ist nicht immer nachvollziehbar. Das Ausmaß der Verringerung der gemessenen Sulfatkonzentration von Dezember 2015 nach Januar 2015 kann durch den Umfang der Spülung bei durch die Abgabe leicht verändertem Volumen nicht erklärt werden, wenn man zum Vergleich den September bis November 2015 heranzieht. Allerdings kann kein einfacher direkter Zusammenhang zwischen monatlicher Spülungsmenge aus der Vorflut und als Tageswert gemessener Sulfatkonzentration angenommen werden.

Die Simulation der Sulfatkonzentration im SB Burghammer kann zusammenfassend als plausibel bewertet werden, insbesondere in Hinblick auf die Spülung aus der Kleinen Spree.

An der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal/Spree summieren sich die Einflüsse aus den Sulfateinträgen des Schöpsgebietes, der Spree und Kleinen Spree. Die Verifizierung der Teileinträge ist in Abschnitt 2.2.1 dargestellt. Die diffusen Einträge wurden entsprechend Abschnitt 2.2.1.4 einbezogen. Die nachfolgende Abbildung zeigt das Ergebnis des Sulfatprognosemodells in Bezug auf die Volumenströme und die berechnete Sulfatkonzentration am Querschnitt Spremberg-Wilhelmsthal/Spree.

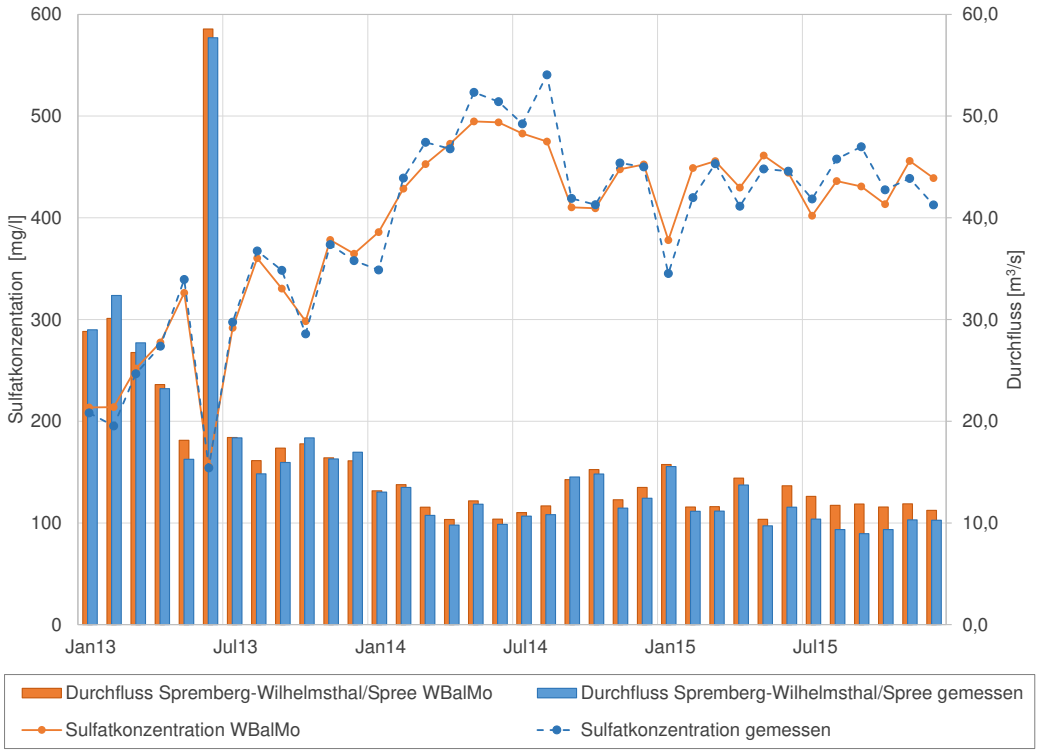


Abbildung 208: Simulationsgüte Querschnitt Spremberg-Wilhelmsthal/Spree (IST-Szenario)

Die Dynamik der Sulfatkonzentration am Querschnitt Spremberg-Wilhelmsthal wird wesentlich durch die Veränderung des Gesamtdurchflusses gesteuert. Je geringer das Durchflussniveau, umso deutlicher wirken Durchflussveränderungen auf die Sulfatkonzentration. Dies weist auf den stabilen Umfang der Sulfatfracht aus Einträgen mit den höchsten Sulfatkonzentrationen (z. B. GWBA Tzschelln) hin, dessen Anteil bei geringer Durchflussmenge hoch ist, so dass Änderungen z. B. der Abgaben aus dem SB Bärwalde oder den TS in Sachsen bei geringen Gesamtdurchflüssen relativ stärkere Verdünnungseffekte bewirken, als bei hohen Durchflüssen. Allerdings gilt umgekehrt auch, dass bei der Verringerung der Durchflüsse die Sulfatkonzentration schneller steigt als die Durchflüsse abnehmen.

Die berechneten Sulfatkonzentrationen am Querschnitt Spremberg-Wilhelmsthal stimmen sowohl hinsichtlich kurz- und langfristiger Dynamik als auch des Niveaus sehr gut mit den Messwerten überein.

4.3.1.2 Spreegebiet von Spremberg-Wilhelmsthal/Spree bis zum Spreewald mit Tranitz, Malxe und Hammergraben

Für die TS Spremberg wird ein Stoffbilanzmodell verwendet (vgl. Abschnitt 2.3.1.2). Die sich für den Stauraum der TS ergebende Sulfatkonzentration entspricht der Sulfatkonzentration am Abgabepegel Bräsinchen/Spree (Abbildung 209).

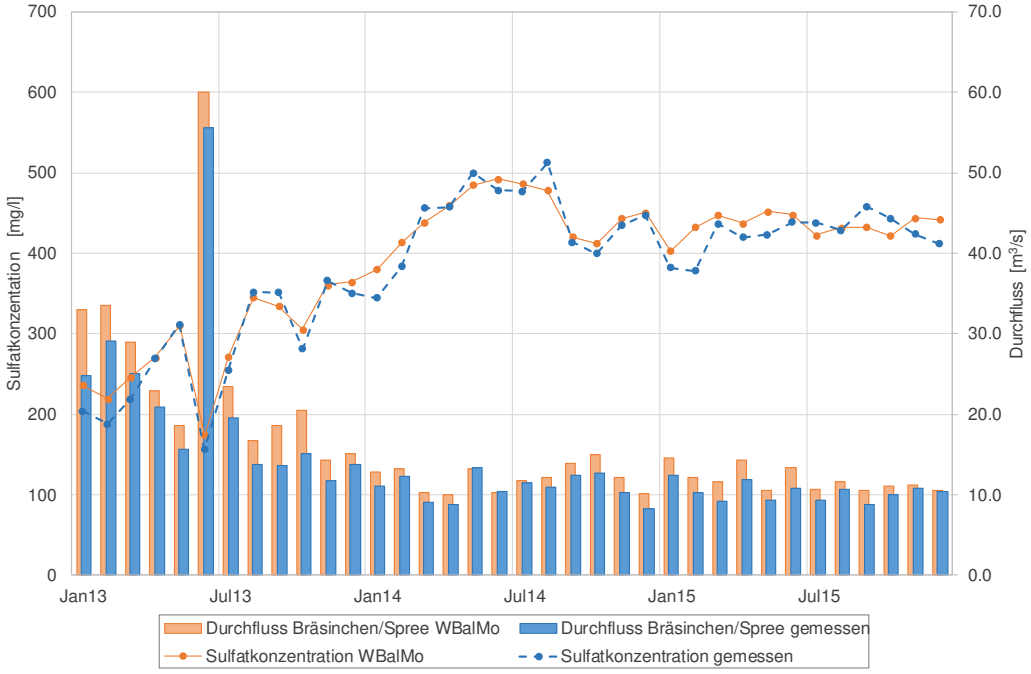


Abbildung 209: Simulationsgüte Querschnitt Bräsinchen/Spree (IST-Szenario)

Für die Berechnung der Abgabe aus der TS Spremberg wurde davon ausgegangen, dass der berechnete Inhalt der TS den gemessenen Werten entsprechen muss. Dies „ermöglicht“, alle Abweichungen der Teilvolumenströme (Spremberg-Wilhelmsthal, Verluste aus Versickerung oder Beregnung usw.) auf die Abgabe am Querschnitt Bräsinchen wirken zu lassen. Bis Juli 2015 ergeben die in den einzelnen Jahren unveränderten Teilvolumenströme überwiegend etwas zu hohe Abgaben, so dass sie zu hoch erscheinen. Allerdings sind sie ab Juli 2015 zu klein, wenn man die nur noch wenig größeren Abgaben den höheren Zuflüssen von Spremberg-Wilhelmsthal (siehe Abbildung 208) gegenüberstellt. Messwerte zu den o.g. Teilvolumenströmen liegen nicht vor, so dass die WBalMo-Werte hier zugrunde gelegt wurden.

Die berechneten Sulfatkonzentrationen stimmen sehr gut mit den gemessenen überein. Nicht immer sind dabei die gemessenen Sulfatkonzentration plausibel: Die initiale Sulfatkonzentration in der TS Spremberg vom Dezember 2012 beträgt 317 mg/L. Im Januar 2013 werden nur noch ca. 200 mg/L gemessen. Insofern scheinen die anfänglich höheren berechneten Sulfatkonzentrationen gerechtfertigt.

Bis zum Spreewald am Querschnitt Schmogrow/Spree sind geringe Einleitungen aus der GWBA Am Weinberg sowie die Einträge aus der verlegten Tranitz zu verzeichnen. Sulfatfracht wird u. a. durch die Überleitungen in den Priorgraben und den Hammergraben verlagert. Daraus ergeben sich die in Abbildung 210 gezeigten Sulfatkonzentrationen und Abflüsse.

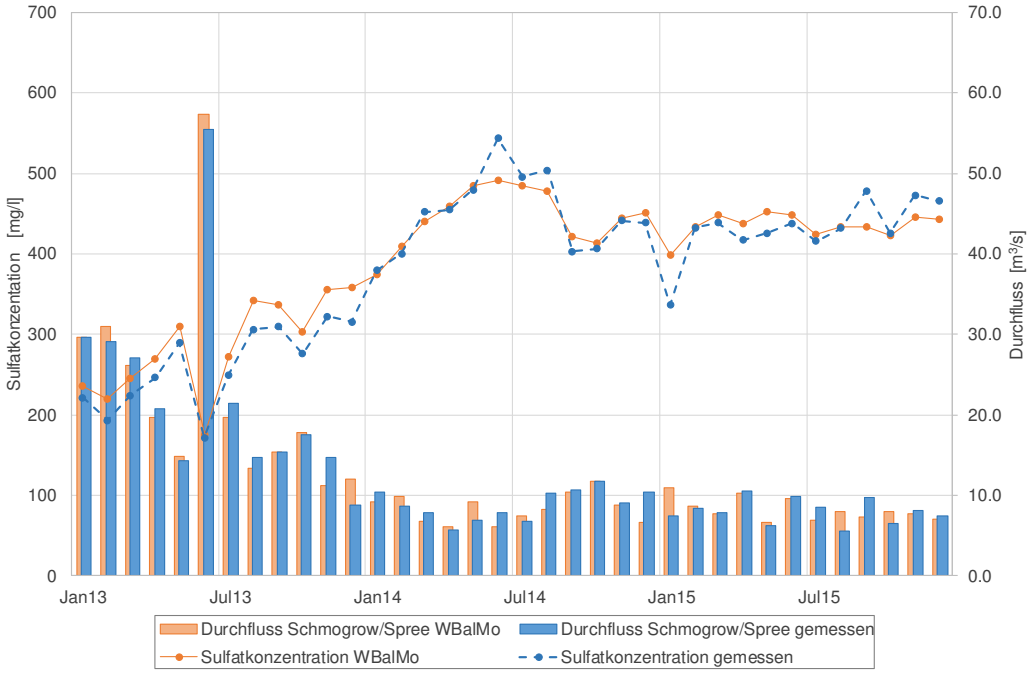


Abbildung 210: Simulationsgüte Querschnitt Schmogrow/Spree (IST-Szenario)

Die Abweichungen der Volumenströme verringern sich, so dass fast keine Unterschiede auftreten. Dazu ist festzustellen, dass für die Überleitungen in den Priorgraben und den Hammergraben sowie die Einleitung aus der Tranitz die gemessenen Werte verwendet wurden. Allen weiteren Einleitungen und Entnahmen (Döbberner Graben, Industrie Cottbus usw.) liegen WBalMo-Werte zugrunde. Diese können geringfügig zu klein sein oder es liegen unbekannte Entnahmen vor.

Insgesamt zeigen die berechneten Sulfatkonzentrationen in Schmogrow erneut einen plausiblen Verlauf sowohl hinsichtlich der kurz- und langfristigen Dynamik als auch in Bezug auf das Niveau im Vergleich zu den gemessenen Werten.

Einen weiteren Zufluss zum Spreewald bildet das Große Fließ. Volumenstrom und Sulfatkonzentration zeigt die folgende Abbildung 211.

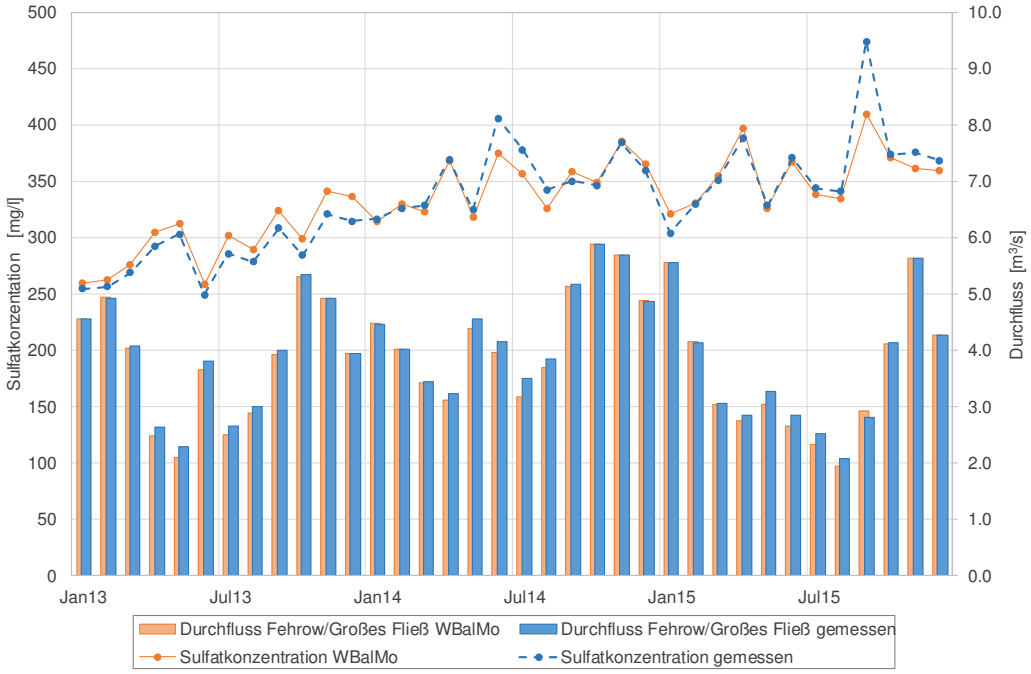


Abbildung 211: Simulationsgüte Querschnitt Fehrow/Großes Fließ (IST-Szenario)

Die im Abschnitt 2.2.2.2 beschriebenen Zusatzarbeiten zur Verbesserung der Bilanzierung der GWBA Jänschwalde haben zu der sehr guten Übereinstimmung der Volumenbilanz am Querschnitt Fehrow/Spree beigetragen. Dementsprechend kann auch die Wiedergabe der Sulfatkonzentration zufrieden stellen. Dabei wurde für den Hammergraben die berechnete Sulfatkonzentration in der Spree an der Entnahmestelle verwendet.

4.3.1.3 Spreegebiet beginnend mit Spreewald bis Berlin

Eine wesentliche Voraussetzung für die Prognose der Sulfatkonzentration in der unteren Spree besteht in der Güte des Sulfattranslationsmoduls für den Spreewald. Er ermittelt die resultierende Fracht am Querschnitt Leibsch OP aus den Sulfatfrachten des oberhalb gelegenen Gebiets der Spree, des Großen Fließes und der Südzuflüsse zur Spree aus dem Nordraum.

Für die Prüfung der Simulationsgüte wurden ähnlich wie für die TS Spremberg davon ausgegangen, dass die Fehler der Zuflüsse nicht durch entsprechende Anpassung des Zwischeneinzugsgebietes kompensiert werden dürfen. Daher wurde das Eigendargebot des Spreewaldes aus den Messwerten ermittelt und für die Berechnung von Leibsch OP/Spree aus den „prognostizierten“ Volumenströmen verwendet. Für das Greifenhainer Fließ wurde die berechnete Sulfatkonzentration für den Priorgraben an der Entnahmestelle in der Spree verwendet. Die Aufteilung des Zuflusses über Spree und Großes Fließes erfolgte gemäß den abgestimmten Regeln (siehe Abschnitt 2.3.2).

Die Ergebnisse für den Durchfluss in Leibsch OP/Spree und die Sulfatkonzentration an diesem Querschnitt zeigt die folgende Abbildung 212.

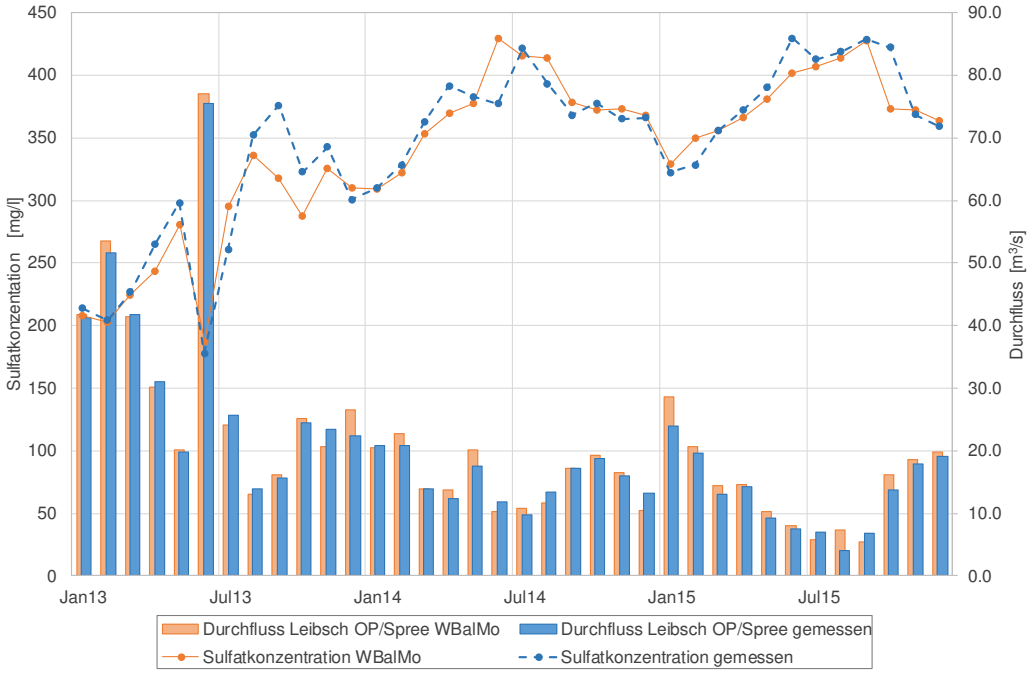


Abbildung 212: Simulationsgüte Querschnitt Leibsch OP/Spree (IST-Szenario)

Die Unterschiede des berechneten Durchflusses zum gemessenen in Leibsch OP weisen vergleichsweise die gleichen Abweichungen wie die Zuflüsse auf, so dass von einer guten Übereinstimmung auch der Volumenströme für das Zwischengebiet bis Leibsch OP, einschließlich des Nordraumes, ausgegangen werden kann.

Die aus der Fracht berechnete Sulfatkonzentration stimmt gut mit der gemessenen überein. Vereinzelt treten aber gegenläufige Veränderungen auf: z. B. im September 2013 sowie im Juni 2014. In beiden Fällen lässt aber der Anstieg bzw. Rückgang der gemessenen wie auch berechneten Durchflüsse in Leibsch OP ein gleichsinniges Verhalten der gemessenen Sulfatkonzentration nicht als plausibel erscheinen, wie auch die Sulfatkonzentrationen und Durchflüsse in Schmogrow und Fehrow nahelegen.

Im weiteren Verlauf wird die Sulfatkonzentration für Beeskow/Spree ermittelt und mit den gemessenen verglichen (Abbildung 213). Dabei wurde die maßgeblich den Durchfluss bestimmende Überleitung in den Dahmeumflutkanal gemäß der Aufteilungsregel im WBalMo berechnet sowie Entnahmen für die landwirtschaftliche Beregnung berücksichtigt.

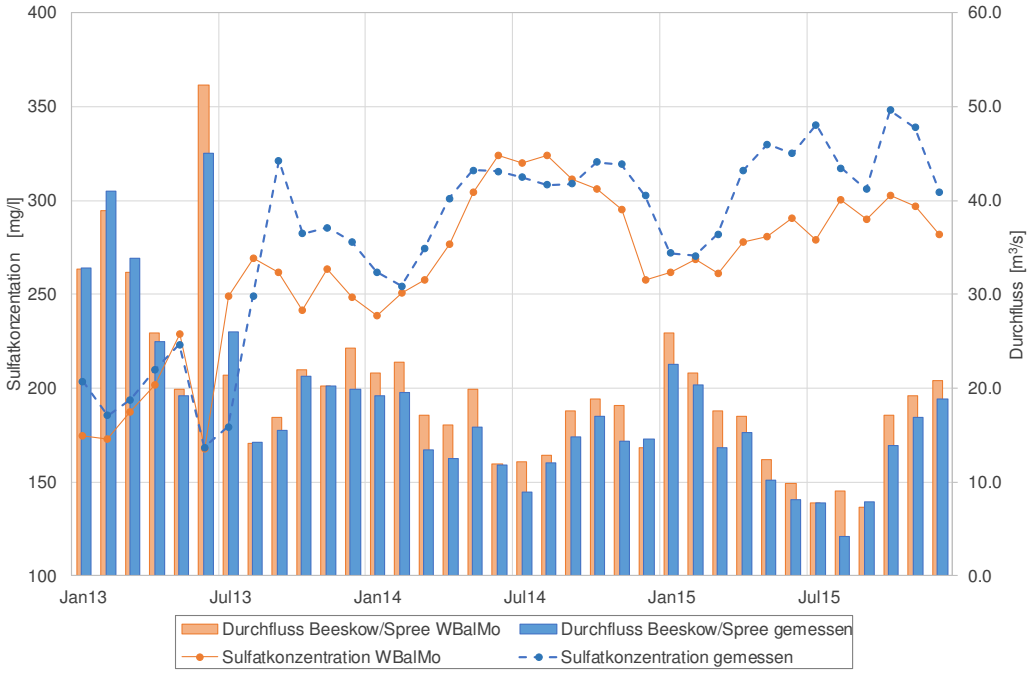


Abbildung 213: Simulationsgüte Querschnitt Beeskow/Spree (IST-Szenario)

Das Ergebnis zeigt jedoch überwiegend zu große berechnete Durchflüsse in Beeskow. Dementsprechend liegen die ermittelten Sulfatkonzentrationen häufig unter den gemessenen. Zur Klärung dieser Abweichungen wurde aus den Messwerten die tatsächliche Überleitung in den Dahmeumflutkanal berechnet und dem Sulfatprognosemodell zugrunde gelegt. Dabei ergaben sich die in Abbildung 214 gezeigten Durchflüsse.

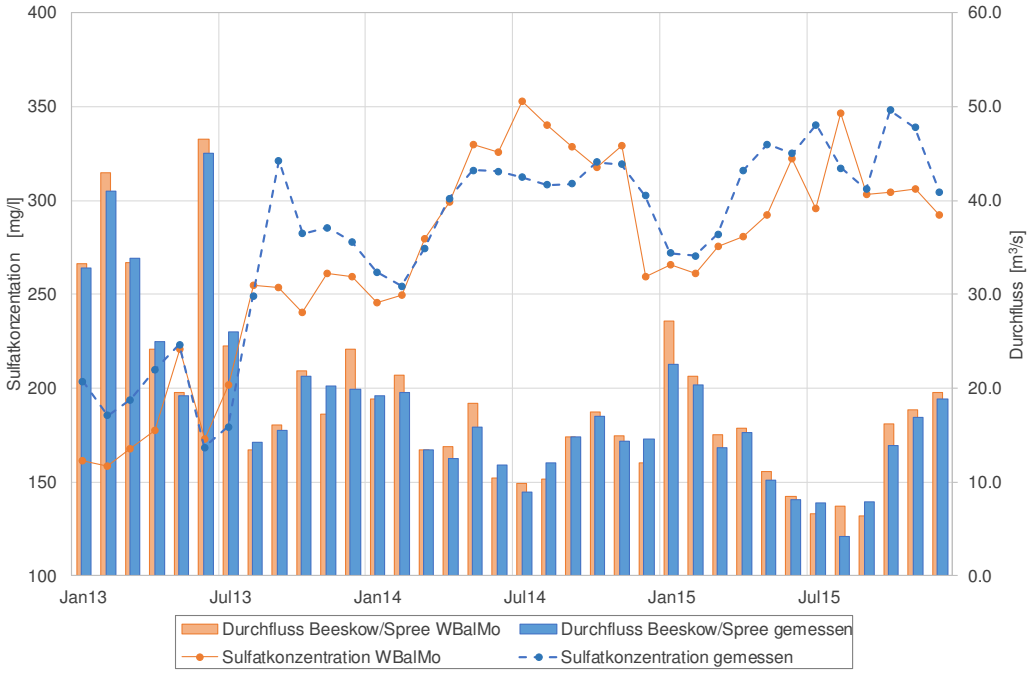


Abbildung 214: Simulationsgüte Querschnitt Beeskow/Spree bei Verwendung der gemessenen Überleitung in den Dahmeumflutkanal (IST-Szenario)

Die Übereinstimmung der Durchflüsse in Beeskow kann nun als gut bewertet werden, in einigen Monaten bleiben Abweichungen bestehen. Auch die berechneten Sulfatkonzentrationen stimmen nun ausreichend mit den gemessenen überein. Allerdings kann der Verlauf der gemessenen Sulfatkonzentration nicht immer nachvollzogen werden. Gegenüber einem Anstieg der Sulfatkonzentration in Leibsch OP in der ersten Jahreshälfte 2014 zeigt Beeskow bereits ab Juni einen anhaltenden Rückgang. Demgegenüber wird die verdünnende Wirkung des Zwischengebietes von Leibsch UP/Spree bis Beeskow/Spree im Dezember 2014 in den Messwerten sehr gering sichtbar.

Ein vergleichbares Bild ergibt sich bei der Bewertung der berechneten und gemessenen Durchflüsse und Sulfatkonzentration am Querschnitt Große Tränke OP/Spree (Abbildung 215 und Abbildung 216). Allerdings kann die Wiedergabe der Durchflüsse auch nach Verwendung der tatsächlichen Überleitung zum Dahmeumflutkanal im oberhalb gelegenen Einzugsgebiet nicht voll zufriedenstellen. Dazu ist festzustellen, dass bis auf die Nutzung von Spreewasser durch das Reifenwerk Fürstenwalde alle anderen bekannten Nutzungen durch Messwerte belegt wurden, wie z. B. das PW Neuhaus und die Schleuse Kersdorf.

Insgesamt können die Wiedergabe der kurz- und langfristigen Dynamik der Sulfatkonzentration sowie die Einhaltung ihres Niveaus sowohl für den Querschnitt Beeskow/Spree als auch für Große Tränke/Spree als ausreichend bewertet werden, wenn beachtet wird, dass bei der Bewirtschaftung des Dahmeumflutkanals in dem betrachteten Zeitraum von den Bewirtschaftungsregeln abgewichen wurde.

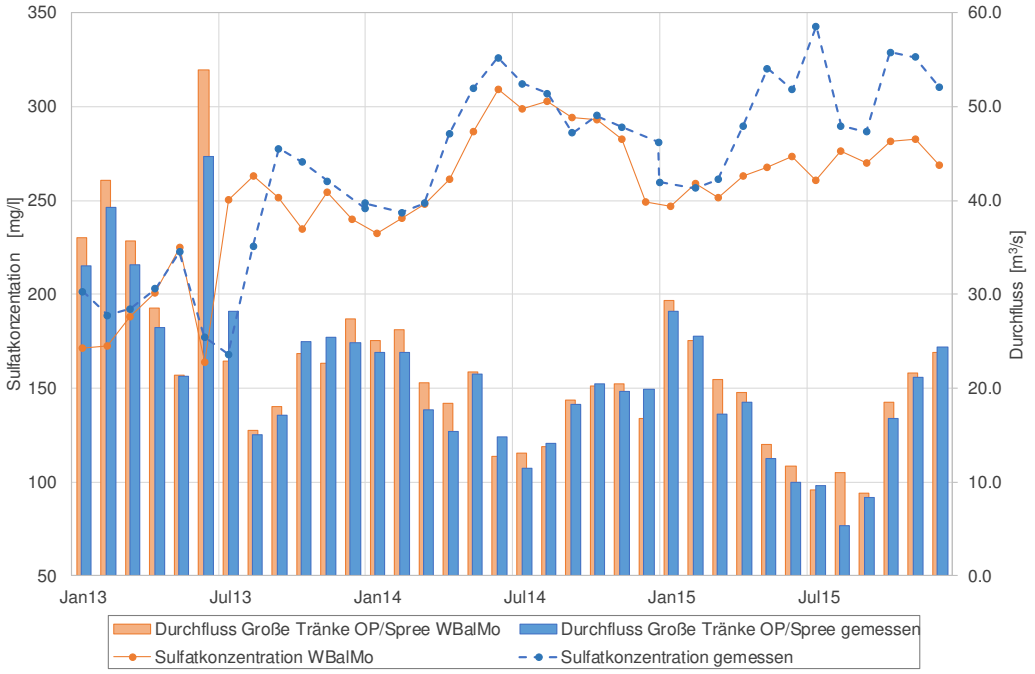


Abbildung 215: Simulationsgüte Querschnitt Große Tränke OP/Spree (IST-Szenario)

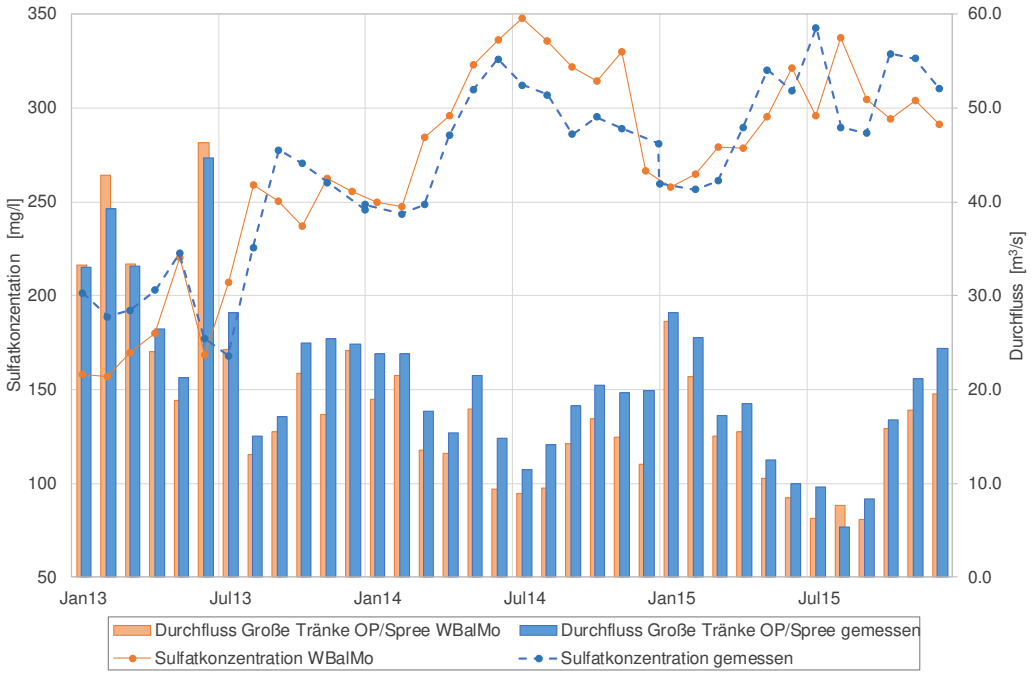


Abbildung 216: Simulationsgüte Querschnitt Große Tränke OP /Spree bei Verwendung der gemessenen Überleitung in den Dahmeumflutkanal (IST-Szenario)

4.3.2 Berechnung von 3 Szenarien

Neben dem Szenario für den Ist-Zustand zum Nachweis der Güte des Modells wurden 3 weitere Szenarien ausgewählt, um die Ergebnisse des Sulfatprognosemodells vergleichend für verschiedene Steuerungsoptionen zu bewerten. Folgende 3 Szenarios wurden berücksichtigt:

- Szenario 2: nur passive Sulfatsteuerung
- Szenario 3: maximale aktive Sulfatsteuerung
- Szenario 4: erwartete aktive Sulfatsteuerung

In Tabelle 74 ist eine Übersicht enthalten, welche Randbedingungen für die oben genannten Szenarien angesetzt wurden. Einige Erläuterungen werden im Folgenden gegeben:

Generell ist zwischen aktiver Sulfatverdünnung einerseits und der Sulfatsteuerung des WSS Lohsa II andererseits zu unterscheiden. Unter letzterem ist die Reduktion von Abgaben wegen des Überschreitens des Immissionszielwertes in Spremberg-Wilhelmsthal zu verstehen, wenn das WSS Lohsa II nicht restriktionsfrei ausleiten kann (siehe dazu auch die Abbildung 217 und Abbildung 218 im Abschnitt 5.2). Für die TRS werden die Zustände „keine Flutung“, „Flutung“ und „Flutung abgeschlossen“ verwendet. Gleichbedeutend mit letzterem wird für die RLK der Begriff „Nachsorge“ eingesetzt.

Für die Wirkung der Größe der initialen Konzentrationen ist der Zeitpunkt ihrer Wirksamkeit in Bezug auf den Auswertezeitraum 2018-2022 entscheidend. Werden sie weit früher gesetzt, sind sie ohne Bedeutung, da sich bis zum Beginn des Auswertezeitraums für die Bewirtschaftungs- und Emissionssituation typische Sulfatkonzentrationen eingestellt haben. In Bezug auf das WSS Lohsa II bedeutet das für die Szenarien 2 bis 4 (Tabelle 74), dass unter dem Einfluss hoher Wasserstände und der Spülung zu Beginn des Auswertezeitraumes restriktionsfreies Ausleiten möglich ist, d. h. das „Spülungsziel erreicht“ wurde. Szenario 2 zeigt den Zustand, wie er in den letzten Jahren umgesetzt wurde. Dabei erfolgt eine passive Sulfatsteuerung. Die Talsperren Bautzen und Quitzdorf steuern dabei in erster Linie auf den Mengenbedarf, wogegen das WSS Lohsa II nur dann ausleiten darf, wenn der Immissionszielwert in Spremberg-Wilhelmsthal nicht überschritten wird (Tabelle 74).

In Szenario 3 wurde eine Reihe von Maßnahmen umgesetzt, um die Sulfatkonzentration in der Spree maximal zu reduzieren. Dazu gehört zum Beispiel, dass das WSS Lohsa II im Auswertezeitraum von 2018-2022 nicht als Speicher betrieben wird. Des Weiteren werden die Abgaben aus den Talsperren und Speichern sowie die Neißewasserüberleitung zur aktiven Sulfatverdünnung auf den Immissionszielwert in Spremberg-Wilhelmsthal gesteuert.

Das Szenario 4 bildet die zu erwartende aktive Sulfatsteuerung ab. Hier befindet sich das WSS Lohsa II ebenfalls nicht im Speicherbetrieb. Im Unterschied zur oben genannten Variante wird aber die Neißewasserüberleitung für die Flutung der Restlochkette und nicht für die Sulfatverdünnung verwendet. In diesem Szenario wird der TRS Klinge geflutet, wobei die Flutung sowohl aus der Tranitz als auch mit Spreewasser erfolgt (die Wirkung nach Flutungsende wird in keinem der vorgegebenen Szenarien betrachtet, vgl. Abschnitt 2.2.2.2).

Die Ergebnisse der Szenarien sind Inhalt des Anhangs 3.1 bis 3.3. Darin wurden die Modellläufe auf Basis der in Abschnitt 3.2 vorgestellten Indikatoren im Zeitraum von 2018-2022 ausgewertet.

Tabelle 74: Übersicht der berechneten Szenarien mit angenommenen Randbedingungen

Beschreibung	nur passive Sulfatsteuerung	maximale aktive Sulfatsteuerung	erwartete aktive Sulfatsteuerung
Kurzbezeichnung	2	3	4
aktive Sulfatverdünnung	nein	ja	ja
SB Bärwalde	nur Menge	2. Priorität	1. Priorität
TS Bautzen und Quitzdorf	nur Menge	3. Priorität	2. Priorität
Neißeüberleitung	RLK-Nachsorge	1. Priorität	RLK-Flutung
WSS Lohsa II			
Speicherbetrieb	ja	nein	nein
Sulfatsteuerung	ja	ja	ja
Spülung SB Lohsa II	ja	ja	ja
Spülung SB Burghammer	ja	ja	ja
Herrmannsdorfer See			
Sulfatüberleitung	nein	ja	ja
Kapazität	0,167 m³/s	0,167 m³/s	0,167 m³/s
Schlabendorfer See			
Sulfatrückhalt	nein	ja	ja
Mindestabgabe Eisen	0,1 m³/s	0,1 m³/s	0,1 m³/s
Cottbuser Ostsee			

Beschreibung	nur passive Sulfatsteuerung	maximale aktive Sulfatsteuerung	erwartete aktive Sulfatsteuerung
Kurzbezeichnung	2	3	4
Flutung mit/ohne Spreewasser	Flutung mit	Flutung ohne	abgeschlossen
Sulfatrückhalt	nein	nein	ja
Mindestabgabe Fischaufstieg	0,3 m³/s	0,3 m³/s	0,3 m³/s
Restlochkette			
Flutung	abgeschlossen	ja	ja
Nachsorge	ja	nein	nein
Klinger See			
Flutung mit/ohne Spreewasser	keine Flutung	keine Flutung	Flutung mit
mit/ohne Spreewasser	0 m³/s	0 m³/s	0,28 m³/s
Sonstiges			
Diffuse bergbauliche Einträge	ja	ja	ja
Diffuse natürliche Einträge	ja	ja	ja
Initiale Konzentrationen			
Zeitpunkt	Spülungsziel erreicht	Spülungsziel erreicht	Spülungsziel erreicht
SB Lohsa II	300 mg/l	300 mg/l	300 mg/l
SB Burghammer	300 mg/l	300 mg/l	300 mg/l
TS Spremberg	100 mg/l	100 mg/l	100 mg/l
Spreewald	70 mg/l	70 mg/l	70 mg/l

4.3.2.1 Auswertung Szenario 2: nur passive Sulfatsteuerung

Die Ergebnisse des Szenarios 2 zeigen bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte (Anhang 3.1.1), dass diese im Spreelängsschnitt abnehmen. Der Schwellenwert von 400 mg/L wird bei Pegel Spremberg-Wilhelmsthal in 60 % der Fälle noch überschritten. Am Pegel Bräsinchen werden noch vergleichbare Werte beobachtet, wogegen diese am Pegel Leibsch UP nur in den Sommermonaten erreicht werden. Am Wasserwerk Briesen wird der Schwellenwert von 400 mg/L praktisch nicht mehr überschritten.

Die Auswertung der Sulfatkonzentrationen mit Wiederkehrintervall zeigen, dass mit einer höheren Jährlichkeit auch die Konzentrationen steigen (Anhang 3.1.3). Am Pegel Spremberg Wilhelmsthal werden im Sommer Sulfatkonzentration alle zwei Jahre von ca. 450 mg/L erreicht (alle zwei Jahre wird dieser Wert erreicht oder überschritten). Bei einem Widerkehrintervall von 20 Jahren steigt dieser Wert auf ca. 550 mg/L an (alle 20 Jahre wird dieser Wert erreicht oder überschritten).

Zusätzlich ist auch hier zu beobachten, dass die Sulfatkonzentrationen im Flusslängsschnitt der Spree abnehmen. Bei einem Wiederkehrintervall von 2 Jahren sinken die Sulfatkonzentrationen von ca. 450 mg/L in Spremberg-Wilhelmsthal auf ca. 270 mg/L in Rahnsdorf. Ebenso ist eine Abnahme der Spannweite zwischen den einzelnen Wiederkehrintervallen zu beobachten. Während die Spannweite bei Spremberg-Wilhelmsthal noch bei ca. 100 mg/L liegt, beträgt die Spannweite bei Rahnsdorf ca. 60 mg/L.

Der starke Anstieg der Sulfatkonzentrationen im Mai bei höheren Wiederkehrintervallen (z. B. an den Messstellen Leibsch UP, Briesen und Große Tränke) ist auf die Beschränkung der Talsperren- und Speicherabgaben zurückzuführen. Im Mai wird nur ein Teil des verfügbaren Wassers abgegeben, um auch in den folgenden Sommermonaten noch Wasserreserven zu besitzen.

Die signifikante Abnahme der Sulfatkonzentrationen im September und Oktober ist zum einen auf den höheren Abfluss aus den Einzugsgebieten im Herbst und zum anderen auf das Ablassen von Fischteichen zurückzuzuführen. Besonders das Ablassen der Fischteiche kann einen sehr hohen Einfluss besitzen (siehe Abschnitt 1.1.3), da unter Umständen in Summe mehrere Kubikmeter pro Sekunde an Wasser in die Fließgewässer abgegeben wird.

Die Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen (Anhang 3.2.5) zeigen ebenfalls das oben beschriebene Verhalten im Flusslängsschnitt und bezüglich der Sulfatkonzentrationen bei verschiedenen Wiederkehrintervallen. Darüber hinaus kann das Verhalten für unterschiedliche Dauern betrachtet werden. Dabei zeigt sich beispielhaft am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal, dass, statistisch betrachtet, alle zwei Jahre eine Periode von zwei Monaten Dauer auftritt, bei der eine Sulfatkonzentration von mindestens 456 mg/L überschritten wird. Bei eine Periode von 6 Monaten Dauer wird eine Sulfatkonzentration von 402 mg/L überschritten. Bei einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren steigen die Sulfatkonzentrationen für eine Dauer von 2 Monaten auf 511 mg/L und für eine Dauer von 6 Monaten auf 454 mg/L.

4.3.2.2 Auswertung Szenario 3: maximale aktive Sulfatsteuerung

Die Ergebnisse des Szenarios 3 zeigen bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte (Anhang 3.2.1) ein dem Szenario 2 ähnliches Ergebnis. Die Hauptunterschiede bestehen darin, dass die Überschreitungswahrscheinlichkeiten im Sommer tendenziell geringer ausfallen. In den Wintermonaten liegen diese geringfügig höher, da häufiger und mehr

sulfatarmer Abfluss für die Wiederauffüllung der stärker entleerten Speicher und Talsperren verwendet wird.

Die Sulfatkonzentrationen für unterschiedliche Wiederkehrintervalle (Anhang 3.2.3) zeigen dagegen deutliche Unterschiede zum Szenario 2. Hier kann die Wirkungsweise der aktiven Sulfatsteuerung beobachtete werden, bei der die Steuerung auf Spremberg-Wilhelmsthal erfolgt. Beispielsweise zeigt sich an dieser Messstelle beim Übergang vom Wiederkehrintervall von 2 Jahren zu 5 Jahren ein Anstieg der Sulfatkonzentration. Bei den Wiederkehrintervallen von 10 Jahren und 20 Jahren ist dagegen nur noch ein geringer Anstieg der Sulfatkonzentration zu beobachten. Die aktive Sulfatsteuerung sorgt dafür, dass der Immissionszielwert eingehalten wird. Einzig beim Wiederkehrintervall von 20 Jahren wird der Immissionszielwert im August leicht überschritten.

Mit zunehmender Entfernung zum Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal wird auch die Wirkung der Sulfatsteuerung geringer, weshalb es auch zu höheren Sulfatkonzentrationen als 450 mg/L kommen kann.

Auch bei diesem Szenario sind der starke Anstieg der Sulfatkonzentrationen im Mai bei höheren Wiederkehrintervallen und die deutliche Abnahme der Sulfatkonzentrationen im September und Oktober zu beobachten (vergl. Abschnitt 4.3.2.1).

Die Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle zeigen ebenfalls die Wirkungsweise der aktiven Sulfatsteuerung (Anhang 3.2.5). Am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal kann der Schwellenwerte von 450 mg/L fast überall gehalten werden. Nur beim Wiederkehrintervall von 20 Jahren und einer Dauer von 2 Monaten wird dieser Wert überschritten.

Im Gegensatz dazu zeigt sich an der Messstelle Leibsch OP, dass der Schwellenwert der Sulfatkonzentration von 300 mg/L und bei Rahnsdorf der Schwellenwert von 220 mg/L auch bei einem Wiederkehrintervall von zwei Jahren nicht eingehalten werden kann.

Im Bereich des Wasserwerks Briesen liegt der Immissionszielwert der Sulfatkonzentration bei 280 mg/L. Dieser Wert wird ab einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren für alle dargestellten Dauern überschritten. Bei kürzeren Wiederkehrintervallen kann dieser Zielwert bei längeren Dauern z. T. eingehalten werden.

Insgesamt zeigt sich aber, dass mit zunehmender Entfernung zum Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal die Wirkung der Sulfatsteuerung abnimmt.

4.3.2.3 Auswertung Szenario 4: erwartete aktive Sulfatsteuerung

Die Ergebnisse des Szenarios 4 zeigen bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte (Anhang 3.3.1) ein dem Szenario 2 und 3 ähnliches Ergebnis. Aufgrund der aktiven Sulfatsteuerung werden tendenziell bessere Ergebnisse gegenüber dem Szenario 2 erzielt. Das Fehlen der Neißewasserüberleitung im Gegensatz zum Szenario 3 führt dazu, dass die Güte des Szenarios 3 nicht ganz erreicht wird.

Die Sulfatkonzentrationen für unterschiedliche Wiederkehrintervalle (Anhang 3.3.3) zeigen ähnliche Ergebnisse wie das Szenario 3. Auch hier kann die Wirkungsweise der aktiven Sulfatsteuerung beobachtete werden, bei der die Steuerung auf Spremberg-Wilhelmsthal erfolgt. Wie beim Szenario 3 kann beim Wiederkehrintervall von 20 Jahren der Immissionszielwert im August nicht eingehalten werden. Zusätzlich wird dieser Schwellenwert auch im Januar geringfügig überschritten.

Auch bei diesem Szenario sind der starke Anstieg der Sulfatkonzentrationen im Mai bei höheren Wiederkehrintervallen, die deutliche Abnahme der Sulfatkonzentrationen im September und Oktober und die abnehmende Wirkung der Sulfatsteuerung mit

zunehmender Entfernung zum Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal zu beobachten (vergl. Abschnitt 4.3.2.1).

Die Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen (Anhang 3.3.5) zeigen ebenfalls die Wirkungsweise der aktiven Sulfatsteuerung. Am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal kann der Schwellenwert von 450 mg/L fast überall gehalten werden. Nur beim Wiederkehrintervall von 20 Jahren und einer Dauer von 2 Monaten wird dieser Wert überschritten.

An der Messstelle Leibsch OP mit einem Schwellenwert der Sulfatkonzentration von 300 mg/L und bei Rahnsdorf der Schwellenwert von 220 mg/L kann der Immissionszielwert bei keinem Wiederkehrintervall eingehalten werden.

Im Bereich des Wasserwerks Briesen liegt der Immissionszielwert der Sulfatkonzentration bei 280 mg/L. Dieser Wert wird ab einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren für alle dargestellten Dauern überschritten. Bei kürzeren Wiederkehrintervallen kann dieser Zielwert bei längeren Dauern z. T. eingehalten werden.

Insgesamt zeigt sich auch hier, dass mit zunehmender Entfernung zum Steuerquerschnitt Spremberg-Wilhelmsthal die Wirkung der Sulfatsteuerung abnimmt.

Wie die berechneten Indikatoren für eine Bewertung der Situation in Bezug auf die Sulfatkonzentration genutzt werden können, soll am Beispiel des Querschnitts WW Briesen veranschaulicht werden:

- Die Sulfatkonzentration im Juli beträgt mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren 354 mg/l (vgl. Anhang 3.3.3),
- Der Jahreshöchstwert der Sulfatkonzentration beträgt mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren 386 mg/l (vgl. Anhang 3.3.4),
- Der Jahreshöchstwert der niedrigsten Sulfatkonzentration innerhalb eines Sulfatereignisses der jeweils betrachteten Dauer beträgt mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren (Anhang 3.3.5):
    - 2 Monate: 343 mg/l
    - 3 Monate: 320 mg/l
    - 4 Monate: 311 mg/l
    - 5 Monate: 297 mg/l
    - 6 Monate: 287 mg/l
- Der Jahreshöchstwert der höchsten Sulfatkonzentration innerhalb eines Sulfatereignisses der jeweils betrachteten Dauer beträgt mit einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren einheitlich für alle Dauern 386 mg/l (vgl. Anhang 3.3.4).

Die sinnvolle Wahl der Indikatoren zur Gefährdungsbewertung weist Analogien zum Hochwasserschutz auf. Die Wahl von Jahreshöchstwerten oder monatlichen Höchstwerten hängt davon ab, ob die Leistungsfähigkeit von Schutzmaßnahmen wie z. B. die Sulfatverdünnung aus Speichern oder die Zumischung von Grundwasser für die Reinwasserherstellung saisonal variiert. Die Wahl des Wiederkehrintervalls ist eine Entscheidung, die von dem angestrebten Schutzgrad abhängt. Gutachterliche Untersuchungen können dafür Hinweise geben.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

5.1 Zusammenfassung

Im Abschnitt 1 wurde das zum Projektbeginn gegenwärtige Modell WBalMo Spree/Schwarze Elster vorgestellt, um einen abgestimmten Startpunkt für die

Weiterentwicklung zum Sulfatprognosemodell Spree und für die spätere Analyse der Modellgüte zu fixieren.

Über dieses WBalMo-Modell hinausgehende zusätzliche Differenzierungen von Stand- und Fließgewässern (z. B. Bilanzprofile) wurden zunächst für die Maßnahmekonzepte vorgenommen und später im Zuge der Entwicklung der Komponenten des Sulfatprognosemodells Spree weiter ergänzt.

Die Erarbeitung der Beschreibung des WBalMo-Modells erfolgte als Ergänzung und vor dem Hintergrund der Bewirtschaftungsgrundsätze. Prinzipiell enthalten letztere die wesentlichen Randbedingungen, welche im WBalMo Spree/Schwarze Elster detailliert umgesetzt sind. Daher wurden insbesondere weitere untersetzende Randgrößen beschrieben, die im AK „Wassermenge“ zwischen den zuständigen Institutionen abgestimmt wurden.

Zum Aufbau des Sulfatprognosemodells (Abschnitt 2) wurden die vorhandenen Daten und Gutachten gesichtet und die Grundstruktur des Sulfatprognosemodells entwickelt. Entsprechend der abgeleiteten Grundstruktur wurde die Entwicklung der Sulfateintragsmodule (Südraum, Spreegebiet bis Spreewald, Nordraum, Untere Spree), Sulfattranslationsmodule (TS Spremberg, Spreewald, WW Briesen, Rahnsdorf) und Sulfatsteuerungsmodule (Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch, WW Briesen) vorgenommen. Auf deren Basis wurden die Ergebnisindikatoren (Abschnitt 3) integriert.

An diese Arbeiten schloss sich die Prüfung der Güte des Sulfatprognosemodells in Abschnitt 4 an. Es wurde gezeigt, dass die Sulfatprognosen des Modells nach der Menge und Sulfat valide und plausibel sind. Hierfür wurden Kalibrierungsergebnisse bezüglich der Hydrologie dargestellt, Plausibilisierung von Wassernutzungen und Bewirtschaftungsregeln durchgeführt und umfangreiche Vergleiche mit Beobachtungsdaten vorgenommen.

Abschließend wurden mit dem Sulfatprognosemodell unterschiedliche Szenarien berechnet. Hier konnte letztendlich gezeigt werden, dass die Entwicklung des Sulfatprognosemodells sowohl hinsichtlich der Wiedergabe von gemessenen Sulfatkonzentrationen im Längsschnitt und hinsichtlich der zeitlichen Dynamik als auch in Bezug auf die Wirkung von Sulfatsteuerungsoptionen gelungen ist.

5.2 Auswertung des „Nullszenarios“ („Worst-Case-Szenario“/ Szenario 5)

Im Vergleich der Szenarien 2 und 3 bzw. 4 (2: passive Sulfatsteuerung – nur die Abgaben von Lohsa II werden bei Notwendigkeit reduziert, 3 und 4: aktive Sulfatsteuerung unter Einbeziehung von Neiße- und Speicherwasser in unterschiedlichem Umfang) zeigte sich, dass die Differenz zwischen den Szenarien (schlechtester und bester Zustand) geringer als erwartet ausfällt. Die folgende Diskussion zur Definition der Szenarien zeigt die Bedeutung des WSS Lohsa II und des SB Bärwalde für die Sulfatkonzentration in der Spree.

Es war davon auszugehen, dass die Ursachen in folgendem bestehen: Bei Abgabereduktionen aus dem WSS Lohsa II werden die Mengendefizite durch das SB Bärwalde und die Talsperren entsprechend den Bewirtschaftungsgrundsätzen ausgeglichen. Damit findet indirekt eine Sulfatverdünnung statt. Außerdem wurde für alle Szenarien angenommen, dass die Spülung der SB Lohsa II und Burghammer in maximalen Umfang erfolgte und erfolgreich abgeschlossen wurde. Dabei ergeben sich in beiden Speicherbecken im Mittel Sulfatkonzentrationen unter dem Immissionszielwert in Spremberg-Wilhelmsthal.

Das Ziel des Szenarios 2 bestand allerdings darin, aufzeigen zu können, welche Wirkung auf die Sulfatkonzentration in der Spree erzielbar ist, wenn verschiedene Optionen zur Verringerung der Sulfatemissionen und der Sulfatsteuerung zur Anwendung kommen. Die Analyse der Ergebnisse zeigte, dass dies nicht in vollem Umfang mit dem Szenario 2 realisiert werden konnte. Aus diesem Grund wurde vorgeschlagen, Modifikationen am Szenario 2 vorzunehmen und dies als Szenario 5 im Rahmen der vorgesehenen Indikatoren auszuwerten (Tabelle 75). Dies sind im Einzelnen:

- Die Abgaben aus dem WSS Lohsa II werden nicht auf den Immissionszielwert in Spremberg-Wilhelmsthal gesteuert, sondern hängen allein vom mengenseitigen Bedarf ab.
- Die initialen Sulfatkonzentrationen in den SB Burghammer und Lohsa II werden auf das Niveau gesetzt, das vor den Spülungskampagnen für das SB Lohsa II gemessen wurde. Dies sind 500 mg/l für das SB Lohsa II und 700 mg/l für das SB Burghammer (nach Wiederinbetriebnahme des Entnahmebauwerkes Kleine Spree).
- Es erfolgt keine Spülung des SB Lohsa II.

Die Ergebnisse dieses Szenarios sind dann besser geeignet, die Wirkung der Maßnahmen zur Verringerung der Sulfatemissionen und der Sulfatsteuerung zu bewerten. Zu beachten ist auch, dass die initialen Sulfatkonzentrationen im WSS Lohsa II erst unmittelbar vor dem Auswertezeitraum von 2018-2022 gesetzt werden und somit zu Beginn dieses Zeitraumes wirksam sind.

Tabelle 75: Übersicht zum „Nullszenario“ („Worst-Case-Szenario“/ Szenario 5) mit angenommenen Randbedingungen

Beschreibung	**keine Sulfatsteuerung**
Kurzbezeichnung	**5**
aktive Sulfatverdünnung	nein
SB Bärwalde	nur Menge
TS Bautzen und Quitzdorf	nur Menge
Neißeüberleitung	RLK-Nachsorge
WSS Lohsa II	
Speicherbetrieb	ja
Sulfatsteuerung	ja
Spülung SB Lohsa II	nein
Spülung SB Burghammer	ja
Herrmannsdorfer See	
Sulfatüberleitung	nein
Kapazität	0,167 m³/s
Schlabendorfer See	
Sulfatrückhalt	nein
Mindestabgabe Eisen	0,1 m³/s

Beschreibung	keine Sulfatsteuerung
Kurzbezeichnung	**5**
Cottbuser Ostsee	
Flutung mit/ohne Spreewasser	Flutung mit
Sulfatrückhalt	nein
Mindestabgabe Fischaufstieg	0,3 m³/s
Restlochkette	
Flutung	abgeschlossen
Nachsorge	ja
Klinger See	
Flutung mit/ohne Spreewasser	keine Flutung
mit/ohne Spreewasser	0 m³/s
Sonstiges	
Diffuse bergbauliche Einträge	ja
Diffuse natürliche Einträge	ja
Initiale Konzentrationen	
Zeitpunkt	keine Spülung
SB Lohsa II	500 mg/l
SB Burghammer	700 mg/l
TS Spremberg	400 mg/l
Spreewald	350 mg/l

Die Ergebnisse des Szenarios 5 (Anhang 3.4) zeigen bezüglich der Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte (Anhang 3.4.1) dennoch ein dem Szenario 2 ähnliches Ergebnis.

Die Sulfatkonzentrationen für unterschiedliche Wiederkehrintervalle (Anhang 3.4.3) zeigen ebenfalls ähnliche Ergebnisse wie Szenario 2. Am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal steigt im Sommer die Sulfatkonzentration auf ca. 460 mg/L (Szenario 2: 450 mg/L) statistisch jedes zweite Jahr (jedes zweite Jahre wird dieser Wert erreicht oder überschritten) und auf ca. 550 mg/L (Szenario 2: 550 mg/L) bei einem statistischen Abstand von 20 Jahren (alle 20 Jahre wird dieser Wert erreicht oder überschritten).

Die Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen (Anhang 3.4.5) zeigt ebenfalls das im Szenario 2 beschriebene Verhalten im Flusslängsschnitt und bezüglich der Sulfatkonzentrationen bei verschiedenen Wiederkehrintervallen. Dabei zeigt sich beispielhaft am Pegel Spremberg-Wilhelmsthal, dass statistisch betrachtet alle zwei Jahre eine Periode von zwei Monaten Dauer auftritt, bei der eine Sulfatkonzentration von 488 mg/L (Szenario 2: 456 mg/L) überschritten wird. Bei eine Periode von 6 Monaten Dauer wird die Sulfatkonzentration von 416 mg/L (Szenario 2: 402 mg/L) überschritten. Bei einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren steigen die Sulfatkonzentrationen für eine Dauer von 2 Monaten auf 535 mg/L (Szenario 2: 511 mg/L) und für eine Dauer von 6 Monaten auf 459 mg/L (Szenario 2: 454 mg/L).

Die für das „Null-Szenario“ angestrebte signifikante Steigerung der Sulfatkonzentrationen im Szenario 5 kann nicht zufriedenstellen. Deshalb wurden im Rahmen des Nachweises der Plausibilität der Sulfatsteuerungsoptionen detailliert die Sulfatkonzentrationen in den Teilbecken des WSS Lohsa II analysiert, da sie insbesondere von den Änderungen der Randbedingungen von Szenario 2 zu Szenario 5 betroffen waren. Dazu wurden die 10%-Perzentile, der Mittelwert und das 90%-Perzentil der Sulfatkonzentrationen der SB Lohsa II und Burghammer für 6 Jahre (fiktive Zuordnung von Januar 2017 bis Dezember 2022) berechnet. Den Verlauf zeigt die nachfolgende Abbildung.

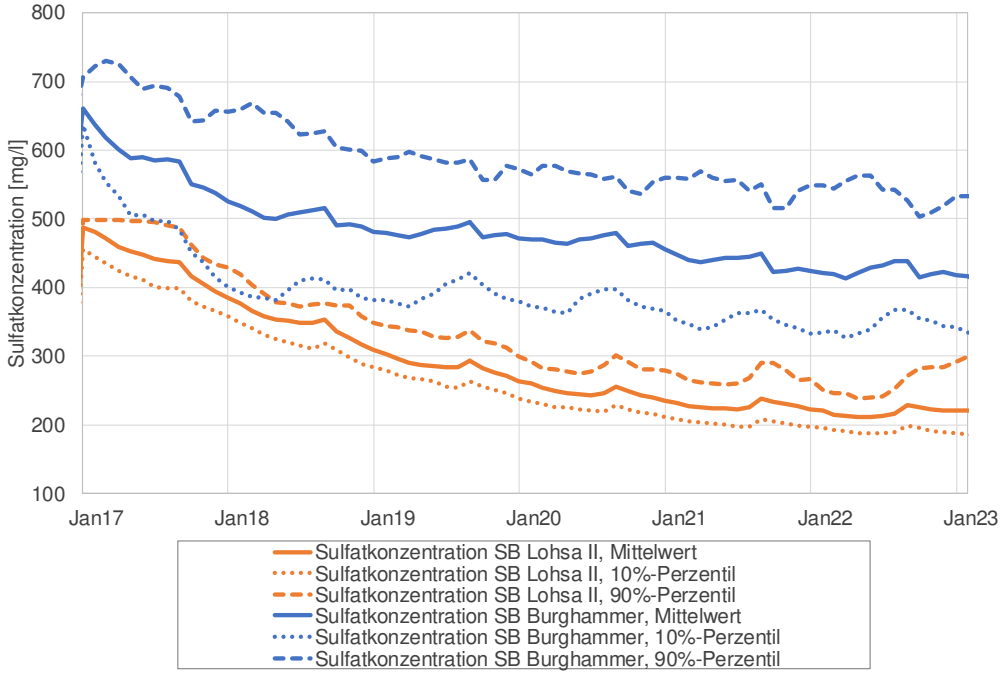


Abbildung 217: Entwicklung der Sulfatkonzentration in den SB Burghammer und Lohsa II innerhalb von 6 Jahren bei Speicherbetrieb ohne Sulfatsteuerung

Der Verlauf zeigt zu Beginn die initialen Sulfatkonzentrationen von 700 bzw. 500 mg/L. Danach führt die Einleitung von Wasser aus dem SB Dreiweibern und der Spree gemeinsam mit der negativen Grundwasserbilanz bei Wasserständen überwiegend über dem Gleichgewichtswasserstand zur zügigen Abnahme der Sulfatkonzentration im SB Lohsa II, aber auch nachfolgend im SB Burghammer. Dabei bewirkt die ausschließliche Abgabe von Wasser aus dem SB Lohsa II, solange nicht die Mindestinhalte erreicht werden, - nicht aber aus dem SB Burghammer - (vgl. Bewirtschaftungsgrundsätze), zu einer zusätzlichen Spülung des SB Burghammer. Letztlich werden nach ca. 5 Jahren Speicherbetrieb erreicht:

- SB Lohsa II zwischen 186 mg/L und 299 mg/L (10%-Perzentil und 90%-Perzentil),
- SB Burghammer zwischen 326 mg/L und 563 mg/L (Perzentile wie für SB Lohsa II).

Scheinbar sind nach dieser Zeit nahezu die minimalen Sulfatkonzentrationen erreicht. Es ist wahrscheinlich, dass dieser Zustand an das Regime der Wasserstandsschwankungen in den Teilbecken gebunden ist. Abbildung 218 zeigt die darauf bezogenen Inhaltsänderungen für den untersuchten Zeitraum von 6 Jahren.

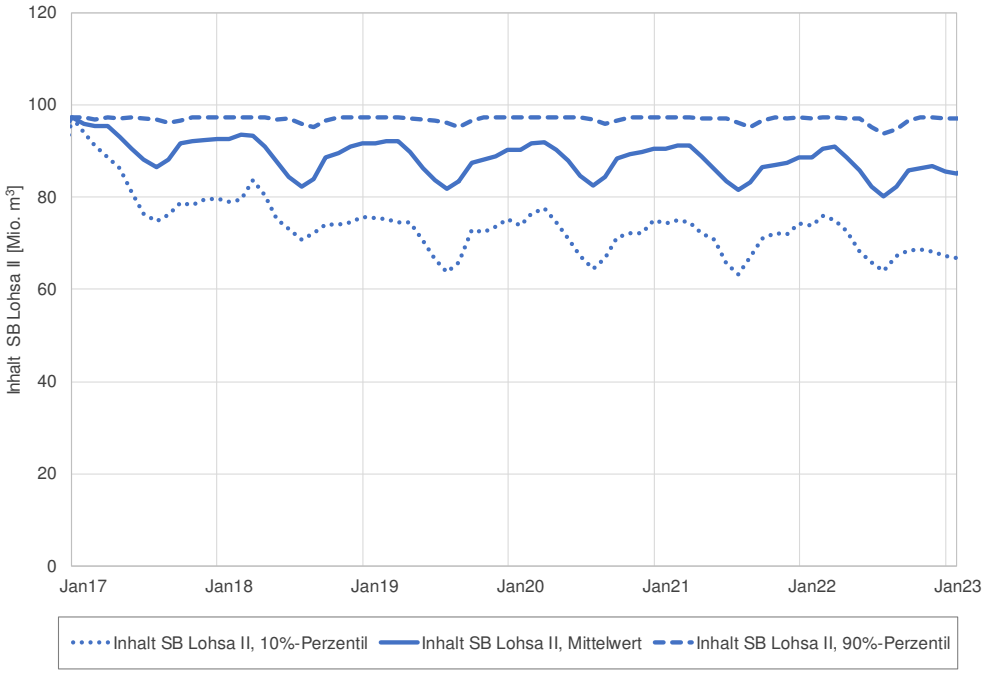


Abbildung 218: Inhaltsschwankungen im SB Lohsa II bei Speicherbetrieb ohne Sulfatsteuerung

Wegen des Zusammenhangs der Wasserstände in den SB mit dem grundwasserbürtigen Sulfateintrag kann es bei häufiger tiefer Absenkung zu einem stärkeren Zustrom sulfathaltigen Grundwassers kommen. Solche Änderungen im Speicherbetrieb des WSS Lohsa II sind denkbar, wenn die Grubenwassereinleitungen im Einzugsgebiet reduziert werden.

Die in (IWB, 2014a) angegeben Sulfatkonzentrationen weisen für das SB Lohsa II Werte von 224 mg/l (10%-Perzentil) und 359 mg/L (90%-Perzentil), für das SB Burghammer 238 mg/L und 485 mg/L aus. Da keine simultane Simulation von Speicherbewirtschaftung und Sulfateinträgen erfolgte sowie von der Verwendung der nicht modifizierten Hysteresemodelle ausgegangen werden muss, können diese Werte vermutlich nur eine Einordnung der Prognosen für das „Null-Szenario“ erlauben. Für alle Szenarien mit passiver oder aktiver Sulfatsteuerung sollte der Übersichtscharakter dieser Prognosen stärker in den Vordergrund treten, da dann aus methodischer Sicht die simultane, rückgekoppelte Simulation von Speicherbewirtschaftung und Sulfateinträgen ein stärkeres Gewicht bekommt.

Der Ausweisung von Sulfatkonzentrationen in den Speicherbecken muss eine Analyse ihrer Dynamik vorausgehen, um die Auswertung in Bezug auf stationäre Verhältnisse durchzuführen.

Ergänzend wurden im Anhang 3.5 exemplarisch an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen für die Wiederkehrintervalle von 2 Jahren und 10 Jahren sowie verschiedene Dauern die Sulfatkonzentrationen der 4 Szenarien verglichen:

Bei einem Wiederkehrintervall z. B. von 10 Jahren wird die Wirkung der aktiven Sulfatsteuerung sichtbar. Während die Sulfatkonzentrationen der Szenarien 3 und 4 maximal 450 mg/L aufweisen, liegen die Sulfatkonzentrationen der Szenarien 2 und 5 deutlich darüber. Diese erreichen im Maximum Konzentrationen von 524 mg/L (Szenario 2) bzw. 544 mg/L (Szenario 5).

Der Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen mit unterschiedlichen Dauern für die 4 Szenarien ist Inhalt des Anhangs 3.5.2. Daraus ist ersichtlich, dass für das Szenario 5 die höchsten Sulfatkonzentrationen erzielt werden. Man erkennt ebenfalls die

Wirkung der aktiven Sulfatsteuerung: bei einem Wiederkehrintervall von 10 Jahren wird eine Reduzierung der Sulfatkonzentrationen um bis zu 80 mg/L erzielt.

5.3 Schlussfolgerungen

Abschließend sollen aus Sicht der Entwickler des Sulfatprognosemodells Fragestellungen und Vorschläge zu verschiedenen Aspekten der Sulfatprognose und Sulfatsteuerung dargestellt werden:

Immissionszielwerte überprüfen:

- Wie verändert sich der nutzbare Speicherinhalt der Speicher und Talsperren bei Absenken des Immissionszielwertes?
- Wie verändert sich die Wasserbereitstellung für ausgewählte brandenburgische und sächsische Nutzungen bei Absenken des Immissionszielwertes?

Analyse des WSS Lohsa II:

- Wie nachhaltig sind die Ergebnisse der Spülung in den Teilbecken?
- In welchem Ausmaß variiert die Sulfatkonzentration in Abhängigkeit von der Belastung des Speichers durch Trockenjahre, d. h. im Rahmen der natürlichen Schwankungen sowohl der Abgaben als auch der Wiedereinspeicherung, in diesem Fall der Zuführung sulfatarmen Wassers?
- Wie verändert sich dieser Schwankungsbereich in Abhängigkeit von der Belastung des Speichers durch Veränderungen der Grubenwassereinleitungen?
- Unter welchen Bedingungen hinsichtlich der Wasserstände in den Teilbecken und des Umfangs der Wiedereinspeicherung in trockenen Wintern bzw. Frühjahren kann auf die Spülung des aktiven Speichers verzichtet werden.
- Gefährdet eine Lastumverteilung zum WSS Lohsa II von den TS Bautzen und Quitzdorf die Einhaltung des angestrebten Schwankungsbereichs der Sulfatkonzentrationen?
- Kann eine Lastumverteilung zu den TS Bautzen und Quitzdorf sowie dem SB Bärwalde die nachhaltige Einhaltung des angestrebten Schwankungsbereichs der Sulfatkonzentrationen in den Teilbecken sichern?
- Lässt sich die Spülungswirkung für das SB Burghammer verstärken, wenn – im Gegensatz zu den aktuellen Bewirtschaftungsregeln – zuerst das SB Burghammer und dann erst das SB Lohsa II in Anspruch genommen wird? Welche Mindestvoraussetzungen sind dafür für die Sulfatkonzentration im SB Lohsa II erforderlich und wie sind diese erreichbar?
- In welchem Maß führt eine höhere Beanspruchung des SB Lohsa II zu höheren Sulfatkonzentrationen im SB Burghammer infolge der Abnahme der Spülungsfunktion?
- Sind für unterschiedliche Lastregime (Folge von Trockenjahren, Abnahme der Grubenwassereinleitungen) spezifische Bewirtschaftungsregeln des WSS Lohsa II erforderlich?
- Wie schnell nehmen die Sulfatkonzentrationen wieder ab, wenn im Rahmen eines intensiveren Lastregimes befristet eine Umverteilung der Wasserbereitstellung zu anderen Speichern und TS erfolgt?

- *Vorschlag*: Verbesserung der Hysterese-Parameter unter Nutzung ausgewählter Jahre mit der Bandbreite der Lastsituationen des WSS Lohsa II und unter Nutzung von Grundwassersimulationen.

Diffuse Einträge

- Welche Abschwächung der Sulfateinträge hat die Beschränkung der diffusen Einträge ausschließlich auf zu definierende Trockenjahre?
- Welche Verstärkung der Sulfateinträge tritt ein, wenn die aus dem Niederschlag resultierenden Wasserzutritte ebenfalls die Sulfatkonzentrationen der aus dem Abstrom der TRS stammenden Sulfateinträge aufweisen?

- Kann das Zusammenspiel des Anstiegs und Abfalls der derzeit prognostizierten diffusen Sulfateinträge mit den Entwicklungen im WSS Lohsa II zu einer Verbesserung der Sulfatkonzentrationen in der Spree führen?
- Ist dieses Ergebnis auch unter verschiedenen langfristigen Lastregime des WSS Lohsa II nachhaltig?

- *Vorschlag*: Monitoring und modellseitige Nachbildung und Prognose (z. B. in einem Großraummodell) der diffusen Sulfateinträge zur direkten Verknüpfung der Bilanzen der Speicher und TRS mit den diffusen Einträgen.

GWBA

- *Vorschlag:* Erweiterung der WBalMo-Versorgungsbilanzen durch Berücksichtigung saisonaler Schwankungen der Einleitungs- und Bedarfswerte,
- *Vorschlag:* Modellseitige Berücksichtigung der Abhängigkeit der Bedarfswerte der Kraftwerke von der Verdunstung und damit ihre witterungsabhängige Dynamisierung,
- *Vorschlag:* Erweiterung der WBalMo-Versorgungsbilanzen um die lagebezogene Berücksichtigung des Eigendargebotes der Vorfluter im Rahmen ihrer Neugestaltung/Wiederherstellung.

Sulfatrückhalt

- Welche großräumige saisonale Wirksamkeit weist der Sulfatrückhaltes im Cottbuser und Schlabendorfer See auf?
- Welche Regeln der Bewirtschaftung des Sulfatrückhalteraumes in Abhängigkeit von den Sulfatkonzentrationen und Abflüssen in der Spree maximieren diese Wirkung?

- *Vorschlag*: Weiterentwicklung der Sulfatprognose für den Cottbuser Ostsee bis zur Qualität des Modells für das WSS Lohsa II.

Überregionale Analyse der zeitlichen Entwicklung der Sulfatkonzentration

- Zusammenführen der sich überlagernden zeitlichen Entwicklungen der Sulfateinträge (diffuse Einträge, Grubenwassereinleitungen, Lastregime des WSS Lohsa II)

Regionale Analyse der zeitlichen Entwicklung der Sulfatkonzentration

- Zusammenführen der sich überlagernden zeitlichen Entwicklungen im Tranitz- und Malxegebiet unter Berücksichtigung des Hammergrabens und seiner Abhängigkeit von den Sulfatkonzentrationen in der Spree.

Operative Steuerung

- Erweiterung des GRMSTEU auf die Vorgabe und Protokollierung der Sulfatkonzentrationen bei Verzicht auf das Abschalten der Sulfatprognose im GRMSTEU.

Schwarze Elster

- Erweiterung des Sulfatprognosemodells auf die Schwarze Elster einschließlich der operativen Steuerung der Wasserressourcen.

Eine Priorisierung der Vielzahl von möglichen und notwendigen Untersuchungen mit dem WBalMo Sulfatprognosemodell sollte ein Ergebnis ständiger Abstimmung mit dem fortschreitenden Erkenntniszuwachs sein. Aus Sicht der DHI WASY ist die in Abbildung 219 gezeigte Abfolge ein derzeit sinnvolles Vorgehen.

Abbildung 219: Mögliche Abfolge weiterer Untersuchungen mit dem WBalMo SPM

5.4 Schlussbemerkung

Abschließend möchte sich die DHI WASY GmbH für die konstruktive und kritische Begleitung der Entwicklung des Sulfatprognosemodells durch die Auftraggeber und die weiteren Projektpartner bedanken.

Quellenverzeichnis

AK WM. (02.09.2015). *Bewirtschaftungsgrundsätze.* Arbeitskreis Wassermenge.

Anwenderkreis WBalMo. (25.03.2015). *Vorgaben zu den Ansätzen zur Spülung Lohsa II.* Senftenberg: Beratungsprotokoll.

BfG. (2013). *BfG-Bericht. Wasserwirtschaftliche Verhältnisse des Projektes 17 für den Bereich des WNA Berlin. 6. Fassung, 2. Teilbericht.* DHI-WASY GmbH und Bundesanstalt für Gewässerkunde.

BTU Cottbus. (2006). *Wissenschaftlich-technisches Projekt: Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz – Sanierungsbereich Ostsachsen. Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Tagebausee Scheibe.* Cottbus: BTU Cottbus. Im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH.

BTU Cottbus. (2007). *Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Tagebauseen Gräbendorf und Greifenhain.* Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Im Auftrag der LMBV.

BTU Cottbus. (2009). *Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Bergbaufolgeseen der Schlabendorfer Felder.* Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Im Auftrag der LMBV.

BTU Cottbus. (2010). *Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Bergbaufolgeseen der Seeser Felder.* Cottbus: Brandenburgische Technische Universität Cottbus. Im Auftrag der LMBV.

BTU Cottbus. (2012). *Abschlussbericht zur Entwicklung eines Wassergütebewirtschaftungsmodells für das Einzugsgebiet der Schwarzen Elster zwischen dem Pegel Neuwiese und Elsterwerda.* Cottbus: BTU Cottbus. Im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH.

DHI-WASY. (2009). *Flutungssteuerungsmodell Spree/Schwarze Elster. 12. Bearbeitungsetappe 2009. Schlussbericht.* DHI-WASY GmbH im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH.

DHI-WASY. (2010). *Flutungssteuerungsmodell Spree/Schwarze Elster. 13. Bearbeitungsetappe 2010. Schlussbericht.* DHI-WASY GmbH im Auftrag der Lausitzer und Mitteldeutschen Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH.

DHI-WASY. (2013). *Untersuchung zu den Auswirkungen der Wasserbewirtschaftung auf den Wasserhaushalt im Havel-Spreegebiet mit WBalMo Havel-Spree unter Berücksichtigung des Klimawandels. Abschlussbericht.* DHI-WASY GmbH im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

DHI-WASY. (2016). *Angebot zur Erstellung des Sulfatprognosemodells Spree (Vergabe-Nr. 2016/074).* Dresden: DHI-WASY GmbH. Im Auftrag des LBGR.

DVWK. (1996). *DVWK-Merkblätter zur Wasserwirtschaft - Heft 238. Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen.* Bonn: Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V. Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH.

Dyck, S. u. (1980). *Angewandte Hydrologie – Teil 2: Der Wasserhaushalt der Flussgebiete.* Berlin: 2. Auflage, Verlag für Bauwesen.

GWZ Dresden/IWB Dresden. (2015e). *Weitere wasserwirtschaftliche Sanierung der Schlabendorfer Felder.* Dresden: Grundwasser-Zentrum Dresden und Institut für Wasser und Boden Dr. W. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2013). *Fortführung der Studie zur Talsperre Spremberg. Abschlussbericht.* Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag des LUGV Brandenburg.

IWB. (2013). *Studie zu den Auswirkungen des Grundwasserwiederanstiegs auf die Beschaffenheit der Oberflächengewässer in den Sanierungsgebieten B1 (Seese/Schlabendorf) und B2 (Greifenhain/Gräbendorf) Projektphase 2: Vertiefung der Untersuchungen zur Präzisierung der Mo.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2014). *Prognose der Wasserbeschaffenheit im Hindenberger See (RL A).* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2014a). *Gutachten zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit in den Tagebauseen Dreiweibern, Lohsa II und Burghammer (Speichersystem Lohsa II).* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2015). *Bewertung der hydrologischen Verhältnisse und der Sulfatkonzentrationen in der Spree in den Jahren 2014/2015 vom Bereich Neustadt Ruhlmühle im Freistaat Sachsen bis in den Berliner Raum (Fallanalyse der Sulfatbelastung in der Spree 2014/2015).* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin.

IWB. (2015a). *Untersuchung zur operativen Sulfatsteuerung bei Ausleitung aus dem Schlabendorfer See (RL 14/15) in den Lorenzgraben (Wudritz).* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2015b). *Fachgutachterliche Stellungnahme zur Möglichkeit einer Sulfatlaststeuerung in der Spree durch Staubewirtschaftung des Cottbuser Ostsees.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG.

IWB. (2015e). *TA10/14: Konzeption für die weitere wasserwirtschaftliche Sanierung der Schlabendorfer Felder Systemanalyse der hydrologischen, geohydraulischen und hydrochemischen Verhältnisse.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2015f). *Einschätzung des Anteils des Sanierungsbergbaus der LMBV an der Sulfatbelastung der Spree.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2015g). *Wissenschaftlich-technisches Projekt 112: Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz 2013 – 2015. TA12/15: Aktualisierung des Gutachtens zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Speicherbecken Bärwalde.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB. (2016). *Rahmenbetriebsplan zum Vorhaben Weiterführung des Tagebaus Welzow-Süd 1994 bis Auslauf – Ergänzung und Abänderung zur Erweiterung des Tagebaus um den räumlichen Teilabschnitt II Teilaufgabe 01Z: Prognose der diffusen Sulfateinträge in die Fließgewässer al.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag von Vattenfall Europe Mining AG.

IWB Dresden. (2015c). *Wissenschaftlich-technisches Projekt 112 „Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz“ 2013 – 2015. TA13/15: Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im RL 23 (Bischdorfer See) und Ableitung von Maßnahmen zur Verhinderung der Wiederversauerung.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWB Dresden. (2015d). *Wissenschaftlich-technisches Projekt 112 „Gewässergüte in Tagebauseen der Lausitz“ 2013 – 2015. TA10-1/14: Konzeption der Wasserbehandlung am Lichtenauer See unter dem Einfluss der Überleitung aus dem Schlabendorfer See und des Kippengrundwassers vom Hind.* Dresden: Institut für Wasser und Boden Dr. Uhlmann. Im Auftrag der LMBV.

IWSÖ Weimar. (2014). *Einschätzung zur Entwicklung der Wasserbeschaffenheit im Redlitzer See (RL 1) bei einem Absenkziel von +47,0 m NHN.* Weimar: Institut für Wasserwirtschaft, Siedlungswasserbau und Ökologie GmbH. Im Auftrag der LMBV.

Kaltofen, M. (2000). *METAF-M. Programme und Tools zur Nutzung des Modells zur Erzeugung von Tageswerten auf der Basis der Fragment-Methode(Durchfluss und meteorologische Prozesse). Programmdokumentation.* Cottbus: BTU Cottbus, Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Kaltofen, M. (2000a). *Mehrdimensionale Simulation des Durchflussprozesses in Tagesmittelwerten unter Beachtung seiner Eigenschaften auf höheren Zeitschrittebenen und bei Niedrigwasser.* Cottbus: BTUC-AR 1/2000, ISSN 1434-6834.

LfU TS Spremberg. (6. 7 Aufruf 1.3.2017). *http://www.lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.311253.de.* Landesamt für Umwelt. Von http://www.lfu.brandenburg.de/cms/detail.php/bb1.c.311253.de abgerufen

LfULG Geodaten. (Abruf am 13.07.2016). *http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/wasser/10002.htm?data=ezg.* Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie des Freistaates Sachsen.

LMBV . (2016a). *Kommentare zum TB2.* Senftenberg: Mail vom 22.11.2016.

LMBV. (2016). *Digitale Datenübergabe an DHI WASY am 01.08.2016.* Senftenberg: Lausitzer- und Mitteldeutsche Bergbauverwaltungsgesellschaft mbH.

Nash, J., & Sutcliffe, J. (1970). River flow forecasting through conceptual models - Part I: A discussion of principles. *Journal of Hydrology, Bd. 10*, S. 282-290.

SIKO/SIMO. (2001). *Benutzerhandbuch zu SIKO/SIMO, Version 3.1, Programm zur stochastischen Simulation.* Dresden: WASY Gesellschaft für wasserwirtschaftliche Planung und Systemforschung mbH.

Uhl, M., & Henrichs, M. (2008). Das Tool „KALIMOD“ zur automatischen Kalibrierung von. *NASIM-Anwendertreffen.* Aachen.

VE-M (jetzt LEAG). (2016). *Datenübergabe Sulfatmodell am 10. Juni 2016.* Dr. Thomas Koch per Mail.

WASY. (1993). *Verifizierung des GRMDYN Spree an Hand der Nutzungsverhältnisse der Jahre 1988 – 1992.* WASY GmbH im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Naturschutz und Raumordnung des Landes Brandenburg.

Watermark Numerical Computing. (2010). *PEST - Model-Independent Parameter Estimation. User Manual.* 5th Edition.

ANHANG

ANHANG 1

Datenanforderungen vom 25.07.2016

Datenanforderungen vom 25.07.2016

Dresden, 25.07.2016

Daten für den Aufbau, die Kalibrierung und Validierung sowie das Betreiben eines Sulfatprognosemodells

Spaltenüberschrift	Bemerkung
Ansprechpartner	Bitte nach Möglichkeit ausfüllen für Nachfragen
Gewässer, Messstellen-Nr., Name	leere Felder (unbekannte Details) bitte ergänzen
Tageswerte, Monatswerte	ausgefüllte Felder kennzeichnen den Umfang der uns bereits übergebenen Daten, wir bitten nach Möglichkeit um Tageswerte

Zusätzliche Messstellen, die Sie für relevant halten, bitte ergänzen
Datenformat: nach Möglichkeit Excel

Datenverfügbarkeit Abfluss

Betreiber	Ansprechpartner	Gewässer	Messstellen-Nr.	Name	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagsmessungen
LfU/LMBV		Berste	584430	Treppendorf	2003-2016		2010,2012-2016
LMBV		Bornsdorfer Kohlegraben		Bornsdorfer Kohlegraben			2010,2012-2016
LfU/LMBV		Buchholzer Fließ		Kackrow *1			
LfU		Dahme-Umflut-Kanal		Hartmannsdorf Wehr Nr. 203a	2003-2014		
LfU/LMBV		Dobra	583870	Boblitz	2003-2016		2003-2016
LMBV		Kleptna		Kleptna			2010, 2013-2016
LMBV		Schrake		Schrake			2010, 2013-2016
LfU		DUK und Randkanal	5856400	Märkisch Buchholz 1	2003-2015		
LfU		Göritzer Mühlenfließ	583700	Göritz	2003-2014		
LfU/LMBV		Greifenhainer Fließ	583600	Müschen, Pauliks Mühle	2003-2016		2009-2016
LMBV		Eichower Fließ		Eichower Fließ			2009-2016
LfU		Gröditscher Landgraben	585760	Pretschen	2003-2014		
LfU		Großes Fließ		uh Schmogrow	2003-2016		
LfU		Großes Fließ /Malxe	584520	Fehrow	2003-2016		
LfU		Hammergraben	584580	Merzdorf 1	2003-2016		
LfU		Heinersdorfer Mühlenfließ		Berkenbrück	2003-2015		
LfU		Koselmühlenfließ					
LfU		Nordumfluter		oh Einmündung in BLK			
LfU		Oelse	585800	Oegeln	2003-2014		
LfU		Priorgraben	583390	Cottbus, Madlow	2004-2016		
LfU		Rocher Mühlenfließ	585750	Schuhlen-Wiese	2003-2014		
LfU		Spree	582090	Spremberg	2003-2016		
LfU		Spree	582800	Bräsinchen	2003-2016		
LfU		Spree	582100	Cottbus, Sandower Brücke	2003-2016		
LfU		Spree	582130	Spreewehr Schmogrow	2003-2016		
LfU		Spree	5850100	Schmogrow Einlasswehr	2003-2016		
LfU		Spree	582380	Lübben	2003-2016		
LfU		Spree	582470	Leibsch Spreewehr	2003-2016		
LfU		Spree	582550	Beeskow	2003-2016		
LfU		Spree	582700	Hohenbinde	2003-2015		
LfU		Spree		vor Mdg Dobra *1			
LMBV		Radduscher Kahnfahrt		Radduscher Kahnfahrt			2012.2015
LMBV		Kamske (Zufluss Südumfluter)		Kamske (Zufluss Südumfluter)			2016-2016
LfU		Südumfluter		Burg (Spreewald)			
LMBV		Schuggergraben		Schuggergrabem			2011-2016
LMBV		Zerkwitzer Kahnfahrt		Zerkwitzer Kahnfahrt			2012
			5835300	Burg Wehr Nr. 15 Friedhofswehr UP	2003-2015		
LMBV		Tranitz		Tranitz			2009-2016
LfU		Tranitzfließ, verlegtes	584561	Merzdorf 2	2003-2015		
LfU		Vetschauer Mühlenfließ	583690	Vetschau	2004-2016		2010-2016
LfU		Wudritz	584181	Ragow 2	2003-2016		2010-2016
LfU			5833810	Radensdorf 1	2003-2015		
LfU			5833820	Radensdorf 2	2003-2015		
LfULG/LMBV		Kleine Spree	583350	Burgneudorf	2003-2016	2003-2015	2003-2015
LMBV		Kleine Spree	3080	Brücke Spreewitz			2012,2014-2016
LMBV		Kleine Spree	3061	Brücke Burghammer			2009,2011-2015
LMBV		Kleine Spree	3062	oberhalb Ausleiter Burghammer			2012.2015
LMBV		Kleine Spree	3065	oberhalb Schulze Wehr			2012.2015
LMBV		Kleine Spree	3066	Brücke Burgneudorf			2009,2012-2015
LMBV		Kleine Spree	3071	Eienbrücke Burgneudorf			2009,2012,2014-2015
LMBV		Kleine Spree	3072	Engstelle Kleine Spree-Spree			2012.2015
LfULG		Kleine Spree	583352	Burg2	2003-2016	2003-2015	2003-2015
LfULG		Kleine Spree	583351	Burg-Betongbrücke	2003-2015	2003-2015	2003-2015
LfULG		Schwarzer Schöps	583200	Boxberg	2003-2016	2003-2015	2003-2015
LfULG		Spree	582060	Lieske	2003-2016	2003-2015	2003-2015
LfULG		Spree	582080	Sprey	2003-2015	2003-2015	2003-2015

Datenverfügbarkeit Abfluss

Betreiber	Ansprechpartner	Gewässer	Messstellen-Nr.	Name	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagsmessungen
LfULG		Spree	582820	Spreewitz	2003-2016	2003-2015	2003-2015
LMBV		Bohmsdorfer Kohlegraben (Altbergbau ohne Rechtsnachfolge)					
LMBV		Schwarzer Schöps		oh Ableiter Bärwalder See			
LMBV		Spree		oh Wehr Uhyst	2003-2016		
LMBV		Spree		oh Wehr OL Bärwalde	2003-2016		
LMBV		Weißacker Moor (Moor sdl. Horstteich)				2008-2015	2012
LTV		Schwarzer Schöps	583271	Sproitz	2003-2016		
LTV		Spree	582032	Bautzen UP	2003-2016		
Senat Berlin		Spree		Rahnsdorf (110 Müggelspree, Fähre Rahnsdorf (0,5 m))	2003-2016	2003-2016	2003-2016
WSV / WSA		Oder-Spree-Kanal		Wernsdorf OP	2003-2016		
WSV / WSA		Spree-Oder-Wasserstraße		Große Tränke	2003-2016		
WSV / WSA		Spree-Oder-Wasserstraße	582640	FuerstenwaldeOP	2003-2016		
WSV / WSA		Spree-Oder-Wasserstraße	585940	Kersdorf OP	2003-2016		

*1 keine Abflussmessungen

Datenverfügbarkeit Sulfatkonzentration

Betreiber	Ansprechpartner	Gewässer	Messtellen-Nr.	Name	Monatswerte Sulfat	Stichtagswerte Sulfat	Abfluss am Tag der Beprobung
LfU/LMBV	Frau Noack	Berste	BE_0050	bei Treppendorf	2003-2016 (S)	2003-2016	
LfU	Frau Noack	Berste	BE_060	Lübben, B115	2003-2016 (S)		
LMBV		Bornsdorfer Kohlegraben		Bornsdorfer Kohlegraben	2010,2013-2016	2010, 2013-2016	
LfU	Frau Noack	Buchholzer Fließ	BFL_0010	bei Casel	2006-2016 (S)		
LfU/LMBV	Frau Noack	Dobra	DOBRA_0050	Boblitz	2003, 2005-2016 (S)	2010, 2012-2016	
LMBV		Kleptna		Kleptna		2003-2016	
LMBV		Schrake		Schrake		2003-2016	
LfU	Frau Noack	Göritzer Mühlenfließ	GÖMFL_0030	bei Raddusch	2004, 2006-2016 (S)		
LfU/LMBV	Frau Noack	Greifenhainer Fließ	GRHFL_0040	Müschen, Pauliks Mühle	2004, 2006-2016 (S)	2006-2016	
LfU	Frau Noack	Greifenhainer Fließ	GRHFL_0050	Nauendorf	2003-2016 (S)		
LMBV		Eichower Fließ		Eichower Fließ		2009-2016	
LfU	Frau Noack	Gröditscher Landgraben	GRLGR_0020	Pretschen	2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Großes Fließ		uh Schmogrow			
LfU	Frau Noack	Großes Fließ / Malxe	GRFL_0010	Fehrow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Hammergraben	HASTR_0010	Merzdorf 1	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Hammergraben	HASTR_0020	Maustmühle	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Hammergraben	HASTR_0030	uh Peitz	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Heinersdorfer Mühlenfließ	HMFL_0010	Berkenbrück	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Koselmühlenfließ	KOMFL_0030	Glinzig	2003, 2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Nordumfluter	NOUM_0010	Byhleguhre	2003, 2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Nordumfluter	NOUM_0020	oh Einmündung in BLK	2003, 2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Oder-Spree-Kanal	OSK_0015	Kersdorfer Schleuse	2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Oder-Spree-Kanal	OSK_0010	bei Wernsdorf	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Oegelfließ	OGFL_0020	Straßenbrücke Beeskow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Priorgraben	PRIGR_0020	Cottbus Steinteichmühle	2003, 2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Priorgraben	PRIGR_0030	Milkersdorf	2003, 2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Rocher Mühlenfließ	ROMFL_0010	Schuhlen-Wiese	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0010	Zerre, oh Abw.kanal	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0020	Spremberg Süd	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0030	Spremberg Wilhelmsthal	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0040	uh Vorsperre Bühlow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0050	Bräsinchen uh TS	2003-2016 (S)	2010-2016	
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0060	Cottbus, Sandower Brücke	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0070	uh Cottbus, Saspow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0080	Fehrow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0090	Burg Mühle	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0100	Lübbenau uh Südumfluter	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0110	Lübben Strandcafe	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0120	Hartmannsdorf	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0130	Leibsch	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0135	Alt Schadow	2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0140	Trebatsch	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0150	Beeskow	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0160	Raßmannsdorf	2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0170	Neubrück	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0180	uh Dehmsee	2005-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0190	uh Fürstenwalde	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0200	Spreeau	2003-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Spree	SP_0210	Neuzittau	2003-2016 (S)		
LfU		Spree	IWB1180	Spremberg Wilhelmsthal			
LfU		Spree	IWB1185	oh Vorsperre Bühlow			
LfU		Spree	IWB1190	uh Vorsperre Bühlow			
LfU		Spree	IWB1200	Bräsinchen			
LfU		Spree		Infiltrations-PW WW Briesen			
LfU		Spree		vor Mdg Dobra			
LfU	Frau Noack	Spree		Leibsch		2015-2016	
LfU	Frau Noack	Spree		Besskow		2015-2017	
LMBV		Göritzer Mühlenfließ, bei Raddusch (Zufluss Südumfluter)		Göritzer Mühlenfließ, bei Raddusch (Zufluss Südumfluter)		2003-2016	
LMBV		Raddusch Kahnfahrt		Raddusch Kahnfahrt		2012, 2015-2016	
LMBV		Kamske (Zufluss Südumfluter)		Kamske (Zufluss Südumfluter)		2015-2016	

Datenverfügbarkeit Sulfatkonzentration

Betreiber	Ansprechpartner	Gewässer	Messtellen-Nr.	Name	Monatswerte Sulfat	Stichtagswerte Sulfat	Abfluss am Tag der Beprobung
LMBV		Zerkwitzer Kahnfahrt		Zerkwitzer Kahnfahrt		2011-2012	
LfU	Frau Noack	Südumfluter		Burg (Spreewald)	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Südumfluter	SÜUM_0030	Lübbenau Südumfluter	2004, 2006-2016 (S)		
LMBV		Schuggergraben		Schuggergraben		2003-2016	
LMBV		Tranitz		Tranitz		2005-2007,2012,2015,2016	
LfU	Frau Noack	Tranitzfließ, verlegtes	TRAFL_0020	bei Dissenchen	2004, 2006-2016 (S)		
LfU	Frau Noack	Vetschauer Mühlenfließ	VEMFL_0030	uh Vetschau	2003, 2005-2016 (S)	2003-2006,2010-2016	
LfU	Frau Noack	Wudritz (Ottergraben)	OTGR_0030	Ragow	2003, 2005-2016 (S)	2003-2016	
LfULG/LMBV		Kleine Spree	OBF22100/3080	Brücke Spreewitz	2003-2016 (S)	2009,2011-2016	
LfULG		Schwarzer Schöps	OBF23800	Sproitz	2003-2016 (S)		
LfULG		Schwarzer Schöps	OBF24100	Sprey	2003-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF20600	oh. Bautzen	2003-2005, 2014-2015 (S)		
LfULG		Spree	OBF20610	Bautzen Brücke oh.	2014-2015 (S)		
LfULG		Spree	OBF20700	Bautzen Steinberg	2006-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF20800	Niedergurig	2003-2005, 2009 (S)		
LfULG		Spree	OBF21000	Lieske	2003-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF21110	Uhyst uh Wehr	2003-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF21300	Spreewitz	2003-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF21400	Zerre	2003-2016 (S)		
LfULG		Spree	OBF21250	uh WKA Tzschelln	2014-2016 (S)		
LMBV		Bohmsdorfer Kohlegraben (Altbergbau ohne Rechtsnachfolge)					
LMBV		Kleine Spree	3062	oh Ableiter Burghammer		2009,2012,2014,2015	
LMBV		Kleine Spree	M3	uh Ableiter Burghammer			
LMBV		Kleine Spree	3060	Burg 2		2009,2011,2012,2014,2015	
LMBV		Kleine Spree	3061	Brücke Burghammer		2009,2011-2015	
LMBV		Kleine Spree	3065	oberhalb Schulze Wehr		2009,2012,2014,2015	
LMBV		Kleine Spree	3066	Brücke Burgneudorf		2009,2011-2015	
LMBV		Kleine Spree	3070	Pegel Burgneudorf		2009,2012,2014,2015	
LMBV		Kleine Spree	3071	Eisenbahnbrücke Burgneudorf		2009,2012-2016	
LMBV		Kleine Spree	3072	Engstelle Kleine Spree-Spree		2009,2012-2016	
LMBV		Kleine Spree	3075	zwischen Eisenbahnbrücke und Engstelle Kl.Spree-Spree		2015-2016	
LMBV		Kleine Spree	F 1.091	Wehr am Einlauf Dreiweibern	2008-2015	2003-2016	ja
LMBV		Kleine Spree	F 1.215	Kleine Spree vor Mündung bei Spreewitz		2015-2016	
LMBV		Kleine Spree	F 1.212	oberhalb Einleitstelle, an Brücke		2009-2016	
LMBV		Kleine Spree	F 1.213	unterhalb Einleitstelle		2009-2016	
LMBV		Kleine Spree	F 2.041	Wehr in Kleiner Spree am Zuleiter Scheibe	2008-2015	2003-2016	ja
LTV		Schwarzer Schöps	F1.061	Ausleiter Bärwalder See		2016	
LMBV/LTV		Schwarzer Schöps	F1.071	oh Ableiter Bärwalder See		2016	
LMBV/LTV		Schwarzer Schöps	F1.075	Einleitstelle Bärwalder See		2016	
LMBV/LTV		Schwarzer Schöps	F1.081	uh Ableiter Bärwalder See		2016	
LMBV		Schwarzer Schöps		Zuleiter Speicher Bärwalde von Spree	2003-2016		
LMBV		Schwarzer Schöps		Zufluss Bärwalde	2006-2015		
LMBV		Schwarzer Schöps		Ableiter SB Bärwalde	2008-2016		
LMBV		Schwarzer Schöps		Boxberg	2003-2015		
LMBV		Spree	F1.141	oh Wehr OL Bärwalde	2008-2015		ja
LMBV		Spree	F1.011	oh Wehr Uhyst	2008-2015		
LMBV		Spree		Wilhelmthal	2010-2016	2010-2015	
LMBV		Weißacker Moor (Moor sdl. Horstteich)	10'147		2008-2015	2003-2016	
Senat Berlin		Spree		Rahnsdorf (110 Müggelspree, Fähre Rahnsdorf (0,5 m))	2003-2016	2003-2016	ja

Datenverfügbarkeit Bergbaufolgeseen / Speicherbecken

					See / Speicher					Ausleitungen					Einleitungen (Flutungen)				
					Wasserstand		Sulfatkonzentration			Volumenstrom		Sulfatkonzentration			Volumenstrom		Sulfatkonzentration		
Betreiber	Ansprech-partner	Name	Restloch Nr.	Ausleitung in Gewässer	Tageswerte	Monatswerte	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagswerte	Tageswerte	Monatswerte	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagswerte	Tageswerte	Monatswerte	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagswerte
LMBV		Altdöberner See (Greifenhainer See)		Greifenhainer Fließ	2003-2016 (S)				2003-2016										
LMBV		Bischdorfer See	23	Kleptna	2003-2016 (S)				2003-2016	2015-2016	2013-2016								
LMBV		Drehnaer See	12	Schrake	2003-2016 (S)				2003-2016	2015-2016	2014-2016		2014-2015						
LMBV		Gräbendorfer See		Greifenhainer Fließ	2003-2016 (S)				2003-2016	2013-2016 (S), 2015-			2015		2014-2016				
LMBV		Hindenberger See	A	Wudritz	2003-2016 (S)				2003-2016	2015-2016	2011-2016								
LMBV		Kittlitzer See	1a	Dobra	2003-2016 (S)				2003-2016	2015-2016									
LMBV		Klinger See		Tranitz	2003-2016 (S)				2003-2016										
LMBV		Lichtenauer See	F	Beuchower Graben	2003-2016 (S)				2011-2016	2015-2016	2011-2016			2003-2016					
LMBV		Lichtenauer See	F	Lichtenauer Graben					2014-2016	2015-2016	2013-2016			2013-2016					
LMBV		Redlitzer See	1	Kleptna	2003-2016 (S)				2003-2016		2011-2016								
LMBV		Schlabendorfer See	14/15	Überleitung in Lichtenauer See	2003-2016 (S)				2003-2016	2015-2016	2013-2016					20015-2016			
LMBV		Schlabendorfer See	14/15	Lorenzgraben					2010-2016	2015-2016	2013-2016			2003-2016					
LMBV		Schönfelder See	4	Dobra	2003-2016 (S)				2003-2016	2014-2016 (S)									
LMBV		Speicherbecken Bärwalde		Schwarzer Schöps	2003-2016 (S)	2003-2016			2003-2016	2010-2016	2014-2015		2014-2015		2003-2016				2003-2015
LMBV		Speicherbecken Burghammer		Kleine Spree	2003-2016 (S)	2003-2016			2003-2016	2009-2016	2014-2015		2014-2015	2008-2016	2003-2016				
LMBV		Speicherbecken Lohsa II			2003-2016	2003-2016			2003-2016	2003-2016					2003-2016				2003-2015
		Speicherbecken Dreiweibern			2004-2016					2003-2016									
VEM		[illegible]		[illegible]	nicht in der Datenanforderung angefragt										keine Daten erforderlich				
VEM		Hermannsdorfer See		Nieße															

Datenverfügbarkeit sonstige Nutzungen

				Entnahmen					Ausleitungen				
				Volumenstrom		Sulfatkonzentration			Volumenstrom		Sulfatkonzentration		
Betreiber	Ansprechpartner	Name	Einleitung in Gewässer	Tageswerte	Monatswerte	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagswerte	Tageswerte	Monatswerte	Tageswerte	Monatswerte	Stichtagswerte
VEG		GWBA Kringelsdorf	Schwarzer Schöps	keine Daten erforderlich					2003-2016			2016-2026	2008-2016
VEG		GWBA Tzschelln	Spree	keine Daten erforderlich					2003-2016			2016-2026	2008-2016
VEG		GWBA Schwarze Pumpe	Spree	keine Daten erforderlich						2004-2015		2004-2015	
VEG		GWBA Jänschwalde	Malxe	keine Daten erforderlich					2003-2016	2004-2015		2004-2015	
VEG		GWBA Am Weinberg	Koselmühlenfließ	keine Daten erforderlich					2004-2016			2016-2026	
VEG		KW Schwarze Pumpe, Klarwasserhauptsammler	Spree	keine Daten erforderlich						2004-2015		2004-2015	
VEG		KW Boxberg Regensammler	Schwarzer Schöps	keine Daten erforderlich						2004-2015		2004-2015	
VEG		KW Boxberg Erdbecken	Schwarzer Schöps	keine Daten erforderlich						2004-2015		2004-2015	
VEG		Tagebau Cottbus Nord	Tranitz	keine Daten erforderlich					2003-2016				
LMBV		GWRA Rainitza	Vetschauer Mühlenfließ	keine Daten erforderlich					2003-2016				2009-2016
LMBV		GWRA Rainitza	Greifenhainer Mühlenfließ	keine Daten erforderlich					2003-2016				2009-2016
VEG		Kühlwasser KW Boxberg	Spree		2004-2015				keine Daten erforderlich				
VEG		Kühlwasser KW Boxberg	Schwarzer Schöps		2004-2015				keine Daten erforderlich				

ANHANG 2

Rangliste der Wasserbewirtschaftung im WBalMo LM150902_04

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
DYN-Element		Start & 000 GRMSTEU? Zeitschritt=>Umrechnung, Rücksetzen NG TS SPB Bz ERLK nach Zwangsabgabe	0,2
Abgabeelement	1,05	Rückgängig Freimachen des Überstaus der TS Bz	0,54
Abgabeelement	6,05	Rückgängig Freimachen des Überstaus der TS SPB	0,55
DYN-Element		dyn001_X002_2	10
Nutzer	176,31	Ausleitung RL Scheibe (Nachsorgephase)	13
Abgabeelement	15,01	SNO Überschuss aus Seebilanz für KLS oder Blu dyn006 (001_X002_2)	13,1
Abgabeelement	14,01	Blu Überschuss aus Seebilanz dyn006 (001_X002_2)	13,2
Abgabeelement	13,01	RLK Überschuss aus Seebilanz dyn006 (001_X002_2)	13,3
Nutzer	212,71	Ausleitung RL Greifenhain (Nachsorgephase)	13,4
Nutzer	212,81	Ausleitung RL Gräbendorf (Nachsorgephase)	13,6
Nutzer	216,41	Ausleitung Restlochseen Dobra (Nachsorgephase)	13,8
Nutzer	218,31	Ausleitung Restlochseen Ottergraben (Nachsorgephase)	14
Nutzer	240,51	Ausleitung Lichtenauer See (Nachsorgephase)	14,2
Nutzer	132,2	Qök Weigersdorfer Fließ	15,1
Nutzer	132,1	Bifi Weigersdorfer Fließ	15,2
Nutzer	153,4	TG Kreba / Klitten (R)	15,25
Abgabeelement	4,004	Auffüllung des SB Bärwalde zu Beginn der Rechnung	15,3
DYN-Element		dyn100_1_X101	30
Nutzer	11,1	V / A Biedrzychowka	50
Nutzer	11,2	Tgb Turow	51
Nutzer	11,4	V / A Miedzianka	52
Nutzer	11,5	KA Hirschfelde + KA Ostritz	53
Nutzer	12,1	KA Kiesdorf	54
Nutzer	12,4	Qök Pließnitz	57
Nutzer	12,5	Verdunstung RL Berzdorf (Pließnitz)	57,5
Nutzer	15,1	KA Görlitz	58
Nutzer	15,2	V / A Jedrzychowicki	58,5
Nutzer	15,3	V / A Potok Zarecki	59
Nutzer	15,5	WW + KA Piensk	60
Nutzer	15,8	KA Rothenburg	61
Nutzer	14,4	Qök Görlitz	72
Nutzer	15,92	Qmin Steinbach	73
Nutzer	11,3	KW Turow	81
Nutzer	11,8	V / A Witka	83
Nutzer	14,1	WW Görlitz	85
Nutzer	14,2	WW Zgorzelec / Nysa	86
Nutzer	14,3	V / A Czerwona Woda	87
Nutzer	15,6	V / A Bielawka	89
Nutzer	15,7	Bew Rothenburg	90
Nutzer	15,9	Celltechnik Lodenau	91
Nutzer	13,4	Qmin Flu	93
Abgabeelement	1,01	Auffüllung der TS Bautzen zu Beginn der Rechnung	93,1
Abgabeelement	2,01	Auffüllung der TS Quitzdorf zu Beginn der Rechnung	93,2
DYN-Element		dyn012_X049	94
Nutzer	176,7	RL Scheibe, Altlauf Kleine Spree	104,8
Nutzer	190,2	Tgb Nochten, GWRA Tzschelln (eingefügt am 20.03.2001)	108
Nutzer	190,9	Flutung Hermannsdorfer See	109
Nutzer	201,1	Tagebau Welzow Süd; TS Spremberg, BP201 (Hühnerw.)	110
Nutzer	206,5	Einleitung Tgb Welzow in Döbberner Graben (abflusswirksam)	111
Nutzer	212,2	Tagebau Welzow Süd, Koselmühlenfließ	112

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Abgabeelement	13,1	PW Bahnsdorf für GWRA Rainitza (für ÜL Greifenhainer u. Vetschauer Fließ) dyn006 (001_X002_2)	112,5
Nutzer	432,6	PW Bahnsdorf für GWRA Rainitza (für ÜL Greifenhainer u. Vetschauer Fließ) dyn001_2	113
Nutzer	432,1	Öko-ÜL in Greifenhainer Fließ	113,5
Nutzer	432,2	Öko-ÜL in Vetschauer Mühlenfließ	114
Nutzer	214,2	Tagebau Seese Ost, Vetschauer Mühlenfließ	116
Nutzer	216,1	Tagebau Seese Ost/West; Dobra	117
Nutzer	216,2	Tagebau Schlabendorf; Dobra	119
Nutzer	218,1	Tagebau Schlabendorf Süd; Ottergraben	120
Nutzer	219,1	Tagebau Schlabendorf Süd; Berste	121
Nutzer	185,1	Bifi Neubauteiche Lohsa; Rückleitungsmengen CR	131
Nutzer	122,2	KA Löbau	140
Nutzer	126,1	KA Bautzen	141
Nutzer	263,1	Schleusungswasser Kersdorf	150
Abgabeelement	5,101	SB Dreiw. Abgabe wegen P-ET-Bilanz an LoII (ü. DYN)	151,6
DYN-Element		35 Zufluß SB Bärwalde aus Weigersdorfer Fließ	152
Nutzer	130,2	WW Sdier	153
Nutzer	172,1	WW Sdier	154
DYN-Element		49.1 G L2/BGH für Verdunstungsverluste BH	155
Abgabeelement	5,007	SB Lohsa II, Verdunstungsverlust SB Burgh. bis unteres Stauz	158,03
Abgabeelement	5,207	SB Burgh., Zwisch.rückfüll. bis unt. Stauziel, Ausgl. Verdv	158,05
DYN-Element		50.1 Anp. Vol&SI BH nach Ausgl. Verd-Verl durch L2	158,07
Nutzer	195,1	Tagebau Welzow Süd (SZW Schwarze Pumpe)	158,1
Nutzer	195,2	Tagebau Nochten; ÜL Nochten (Ind. Schwarze Pumpe)	158,2
Nutzer	195,3	Industrie Schwarze Pumpe	158,3
Nutzer	156,2	Tagebau Reichwalde, Weißer Schöps	158,4
Nutzer	156,1	Tagebau Nochten, Weißer Schöps (Kringelsdorf)	158,5
Nutzer	159,2	Kraftwerk Boxberg E/R Schwarzer Schöps	158,6
Nutzer	137,1	Kraftwerk Boxberg, Entnahme aus der Spree	158,7
DYN-Element		44 Leibsch UP nach Sp.abgaben	159
Abgabeelement	1,1	TS Bautzen für sächs. Nutzer mit G = 0	211
Abgabeelement	2,1	TS Quitzdorf für sächs. Nutzer mit G = 0	212
Nutzer	156,5	Versickerung Schwarzer Schöps oh. Pegel Boxberg	221
Nutzer	159,1	Versickerung Schwarzer Schöps oh. Mündung	222
Nutzer	136,2	Versickerung Spree oh. Uhyst	223
Nutzer	160,1	Versickerung Spree Pegel Bärwalde bis Pegel Sprey	223,5
Nutzer	190,1	Versickerung Spree von Pegel Sprey bis Pegel Spreewitz	224
Nutzer	190,11	Maßnahme Eisen mit Kapazität	224,2
Nutzer	200,5	Versickerung Spree von Pegel Spreewitz bis Zerre	224,5
Nutzer	190,8	Verdunstung RL Nochten	227
Nutzer	156,6	Verdunstung RL Reichwalde	228
Nutzer	112,1	Qök Spree uh. TS Bautzen	231
Nutzer	112,2	Qök uh. TS Bautzen für Vorgaben	231,1
Nutzer	119,3	Qök Spree uh. Spreewiese	232
Nutzer	137,2	Qök Bärwalde	233
Nutzer	190,6	Qök uh. Pumpstation Spreewitz	234
Nutzer	122,1	Zuckerfabrik Löbau	241
Nutzer	124,1	Bifi Guttau	242
Nutzer	126,2	Beregnung Kleinbautzen	243
Nutzer	152,1	Qök uh. TS Quitzdorf	249
Nutzer	152,3	Qök uh. TS Quitzdorf für Vorgaben	249,1
Nutzer	153,1	Qök Schwarzer Schöps, Kreba	249,2
Nutzer	159,3	Qök Boxberg	250

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Nutzer	144,1	Bifi Weißer Schöps	251
Nutzer	145,1	Bifi Hammerstadt / Rietschen (Weißer Schöps)	251,2
Nutzer	150,1	Bifi oh. Pegel Jänkendorf, TG Ullersdorf	252
Nutzer	151,1	Bifi oh. TS Quitzdorf, TG Diehsa	252,1
DYN-Element		44.10 Mindestbedarf Verteilerstation	253
Nutzer	152,051	Eigenbedarf SFA und Förstgen/Petershain, DYN 40.10	253,1
Nutzer	152,2	TG Sproitz	253,2
Nutzer	152,5	TG Niederteichgruppe (ÜL TSQ), Beregnung Förstgen	253,3
Nutzer	152,55	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N152.5 (R>E)	253,4
Nutzer	152,4	TG Petershain (ÜL TSQ)	253,5
Nutzer	152,41	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N152.4 (R>E)	253,6
Nutzer	152,51	TG See	254
Nutzer	152,52	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N152.51 (R>E)	254,1
Nutzer	153,51	TG Niederteichgruppe, TG Lache	254,5
Nutzer	153,52	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N153.51 (R>E)	254,6
Nutzer	154,1	TG Petershain, Kosel, Lug-Zedlich	255
Nutzer	154,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N154.1 (R>E)	255,1
Abgabeelement	2,21	Rückf.vor Bifi Horscha/Mücka/Kreba/Klitten auf SI vor SN	257
DYN-Element		44.11 G2.22=SI für Rückfüllung nach Bifi HMKK	257,1
Abgabeelement	2,11	Erneute AB für SN vor Bifi HMKK mit G=0	257,2
Nutzer	152,71	TG Horscha, TG Mücka	258
Nutzer	152,72	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N152.71(R>E)	258,1
Nutzer	153,3	Hälteranlage Kreba / Winterteiche	258,5
Nutzer	153,5	Hälteranlage Kreba / Winterteiche (R)	258,6
Nutzer	153,2	TG Kreba / Klitten	259
Abgabeelement	2,22	Rückfüllung nach Bifi HMKK auf G2.22	260
DYN-Element		44.12 Zusatzbedarf Verteilerstation, G2.2=SI für Rückfüllung	260,1
Abgabeelement	2,12	Erneute AB für SN nach Bifi HMKK mit G=0	260,2
Nutzer	152,052	Zusatzbedarf Horscha-Mücka-Kreba-Klitten, DYN 40.12	260,3
Nutzer	119,1	Beregnung unterhalb TS Bautzen	261
Nutzer	119,2	TG ohne (TW Weigersdorf): Dorfteich Klix	261,1
Nutzer	112,3	TG Doberschütz	261,2
Nutzer	112,31	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N112.3 (R>E)	261,5
Nutzer	112,4	Abschlag für Malschwitzer Kleine Spree (Kpzt)	261,7
Nutzer	113,1	Qök Malschwitzer Kleine Spree	262
Nutzer	113,2	TG Malschwitz, Muschker TG, Niedergurig, Pließkowitz	262,5
Nutzer	113,21	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N113.2 (R>E)	262,51
Nutzer	113,3	TG Klix	262,6
Nutzer	113,31	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N113.3 (R>E)	262,62
DYN-Element		75 Abschlag Malschwitzer Kleine Spree	262,64
Nutzer	112,41	Abschlag für Malschwitzer Kleine Spree (DYN, Rückf Überschu	262,65
Nutzer	114,1	TG Briesing	262,7
Nutzer	114,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N114.1 (R>E)	262,71
Nutzer	114,3	TG Spreewiese II (Mieteteich u.a.)	263,5
Nutzer	114,31	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N114.3 (R>E)	263,51
Nutzer	114,4	TG Spreewiese I (Rokottenteich u.a.)	263,7
Nutzer	120,1	TG Wurschen, Spreewiese/Förderverein	264
Nutzer	120,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N120.1(R>E)	264,1
Nutzer	136,1	TG Uhyst	264,5
Nutzer	136,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N136.1 (R>E)	264,51
Nutzer	701	Bereitstellung Überleitung Kl.Spree (für Nutzer SN)	264,6
Nutzer	175,2	Versickerung Kleine Spree oh. Zuleiter Dreiweibern	264,7
Nutzer	176,8	Versickerung Kl. Spree Zuleiter Dreibweibern bis uh.	264,8

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
		Zuleite	
Nutzer	179,1	Versickerung Kleine Spree uh. Scheibe bis Pegel Burgneudorf	264,9
Nutzer	172,6	Qök Kleine Spree zur Begrenzung Füllung Lohsa I	266
Nutzer	172,3	TG ohne (TW Kauppa): Gänseteich und Planlugteich	266,3
Nutzer	172,31	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N172.3 (R>E)	266,7
Nutzer	172,4	TG Mönau/Göbelner Graben, TG Neuteichgraben	267
Nutzer	172,41	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N172.4 (R>E)	267,5
Nutzer	172,7	TG Mönau, TG Drehna	267,7
Nutzer	172,71	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N172.7 (R>E)	268
Nutzer	172,5	TG ohne (TW Kauppa): Göbelner Dorfteich	268,5
Nutzer	172,2	TG Kauppa/Lippitsch/Kolbitz/Weißig/Wesseler TG/Raudener TG	268,7
Nutzer	172,21	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N172.2 (R>E)	269
Nutzer	171,1	TG Kauppa/St. Petri/Milkel/Weißig-Hermsdf/Opitzer TG	269,5
Nutzer	171,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N171.1 (R>E)	269,7
Nutzer	171,2	TG Weißig/Hermsdorf	270
Nutzer	171,21	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N171.2 (R>E)	270,5
Nutzer	172,8	Bifi EZG Speicher LohsaI	270,6
Nutzer	172,51	Bifi Neubauteiche Lohsa, Entnahmemengen	270,7
DYN-Element		76 Z Zurücknahme ÜBL Kl. Spree N701 (N801)	277
Nutzer	801	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Kleine Spree (N701)	278
DYN-Element		16 B ÜL in Kl. Spree für Qmin Lohsa und Sp. Lohsa I	279
Abgabeelement	1,2	TS Bautzen, Zwischenrückfüllung, G über DYN	280
Nutzer	702	Bereitstg. ÜBL Kl.Spree f. Qmin Lohsa u. Füllg. L I	281
Nutzer	708	Zuleitung SB Lohsa I	281,2
DYN-Element		81 Speicherinhalt Lohsa I voer erster Einspeicherung	281,4
Abgabeelement	3,4	Einbehalten Zufluss SB Lohsa I G=NG	281,5
DYN-Element		44.3 Inhalt SB Lohsa I vor Abgaben für SN	282
Abgabeelement	3,1	SB Lohsa I für Qmin Lohsa	282,2
Nutzer	174,1	Qmin uh. Lohsa I	282,5
Nutzer	175,1	Qök Lohsa	283
Nutzer	176,95	Qmin uh. Flutung Burghammer	283,45
Nutzer	179,4	Qmin Burgneudorf	283,7
Abgabeelement	3,5	Reservebildung aus Eigendargebot Spree uh. TS Bz.	284
Nutzer	808	Rücknahme nicht benötigter ÜL SB Lohsa I	284,1
DYN-Element		16 Z Zurücknahme ÜBL Kl. Spree N702 (N802)	284,5
Nutzer	802	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Kleine Spree (N702)	285
Abgabeelement	2,2	TS Quitzdorf, Zwischenrückfüllung, G über DYN	291
DYN-Element		44.001 Abgabe Überstau Burghammer	291,4
Abgabeelement	5,26	Abgabe Überstau Burghammer	291,5
DYN-Element		44.01 Sulfat nach Abgaben SN/Versickerung	295
Abgabeelement	4,21	SB Bw, Zus. f. Sulfat n. Abg. f. Versickerg, G DYN 44.01	295,5
Abgabeelement	2,23	TS Qzd, Zus. f. Sulfat n. Abg. f. Versickerg, G DYN 44.01	296
Abgabeelement	1,21	TS Bz, Zus. f. Sulfat n. Abg. f. Versickerg, G DYN 44.01	296,5
Nutzer	144,21	NUEL für Sulfat, DYN 44.01	297
DYN-Element		dyn102_X013_2_S	300
Abgabeelement	1,3	TS Bautzen für BB/BE mit aus DYN gesetztem G	312
Abgabeelement	3,3	Sp. Lohsa I für BB/BE mit aus DYN gesetztem G	312,5
Abgabeelement	2,3	TS Quitzdorf für BB/BE mit aus DYN gesetztem G	313
Abgabeelement	5,03	SB Lo II, ges.G z. Einh. Abl.-kap. bzw. Jg. für Mind.Inh.	314
Abgabeelement	4,3	Speicher Bärwalde, Mindestinhalte für BB/BE	314,5
Abgabeelement	5,13	SB Dreiweibern für brandenb. Nutzer, G und BETA ü. DYN	315
Abgabeelement	5,23	SB Burghammer für BB, G über DYN 13	315,1

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Abgabeelement	6,3	TS Spr. mit Jg., da SI[6] evtl.< G[6.3], Rang nach B, Q, LII	316
Abgabeelement	7,3	Speicher Cottbuser See, Mindestinhalte für BB/BE	317
Nutzer	200,3	Verdunstung RL Welzow Süd	321
Nutzer	200,4	Ersatzindustrie Schwarze Pumpe	322
Nutzer	200,1	Beregnung Trattendorf	323
Nutzer	203,2	Versickerung TS Spremberg (oh. Pegel Bräsinchen)	331
Nutzer	203,3	Qmin uh. TS Spremberg	331,5
Nutzer	206,1	Versick. uh. TS Spremberg bis P.Cottb. m. Bran.Park	332
Nutzer	210,1	Versickerung Spree uh. P. Cottbus u. verl. Tranitz	333
Nutzer	205,2	Verdunstung RL Klinge	333,5
Nutzer	203,1	Beregnung Bühlow, Döbbern u.a.	334
Nutzer	206,2	Einleitung in Priorgraben	335
Nutzer	206,3	Industrie Cottbus	336
Nutzer	207,1	Einleitung Hammergraben (Änderungen LUA: 10.05.04)	336,6
Nutzer	237,1	Bifi Peitz und Lakoma (Lakoma nur Periode 1+2)	337
Nutzer	237,2	Speisung Grabensystem über Hammergraben	337,1
Nutzer	205,1	Beregnung Tranitzfließ	337,2
Nutzer	205,4	Bifi Großteich Kathlow (71.5 ha)	337,4
Nutzer	205,7	Versickerung Tranitz oberhalb Kathlower Mühle	337,5
Nutzer	205,6	Tranitzfließ ab Periode 4	338
Nutzer	210,6	Beregnung Dissen und Staubewässerung Nordgraben	339
Nutzer	210,2	Speisung Grabensystem	339,1
Nutzer	210,7	Industrie Vetschau	340
Nutzer	240,31	Überleitung Qmin Greifenhainer Fließ	341
DYN-Element		69 Berechnung der ÜL Qmin Greifenhainer Fließ	341,2
Nutzer	240,32	Qmin Greifenhainer Fließ (R)	341,5
Nutzer	240,41	Überleitung Qmin Dobra	342
DYN-Element		70 Berechnung der ÜL Qmin Dobra	342,2
Nutzer	240,42	Überleitung Qmin Dobra (R)	342,5
Nutzer	232,3	Bifi Eulo / Mulknitz (Malxe)	350
Nutzer	232,1	Tagebau Jänschwalde; Malxe	351
Nutzer	231,1	Tagebau Cottbus Nord, Tranitz	352
Nutzer	231,2	Versickerung Tranitz (Altlauf bis Mündung)	352,5
Nutzer	231,3	Bärenbrücker Teich	353
Nutzer	232,4	Beregnung Heinersbrück / Jänschwalde	354
Nutzer	210,9	Spreewasserüberleitung zum KW Jänschwalde	354,5
Nutzer	232,6	Kraftwerk Jänschwalde	355
Nutzer	232,2	geschlossene Infiltration Laszinswiesen (aus GWRA)	355,5
Nutzer	232,5	(offene) Bewässerung Laszinswiesen (Pumpwerk Malxe)	356
Nutzer	212,3	Versickerung Greifenhainer Fließ	360
Nutzer	212,4	Bewässerung Priorgraben	362
Nutzer	212,9	Bifi Glinzig	363
Nutzer	212,5	Beregnung Babow / Werben	365
Nutzer	212,6	Bewässerung Südpolder	366
Nutzer	214,3	Versickerung Vetschauer Mühlenfließ	371
Nutzer	215,1	Bifi Stradow	373
Nutzer	216,3	Versickerung Dobra	381
Nutzer	218,2	Versickerung Ottergraben	391
Nutzer	219,2	Versickerung Berste	401
Nutzer	219,3	Bewässerung Berste	402
Nutzer	240,1	Versickerung Südumfluter	411
Nutzer	240,2	Industrie Lübbenau	412
Nutzer	245,1	Bifi Petkamsberg	413
Nutzer	245,2	Beregnung Gröditsch	414

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Nutzer	250,1	Mindestüberleitung von Spreewasser zur Dahme	415
Nutzer	260,1	Beregnung oh. Beeskow	421
Nutzer	260,2	Beeskow für GRMSTEU (Schwielochsee)	421,5
Nutzer	270,1	WW Briesen	422
Nutzer	270,2	Reifenwerk Fürstenwalde	423
Nutzer	270,5	Schleusungs- und Spaltwasser Wernsdorf (Min)	424
Nutzer	711	Bereitstellung Oderwasserüberleitung (Kapazität ÜL)	431
Nutzer	270,3	Qmin Gr.Tränke UP für 1.Runde mit begr.Speicherabg.	432
Nutzer	811	Rücknahme nicht benötigter Oderwasserüberleitung	433
Nutzer	200,2	Qök Spremberg, Spree	434
Nutzer	206,4	Qmin Cottbus, Spree	435
Nutzer	207,2	Qök uh. Großes Spreewehr Cottbus	436
Nutzer	210,8	Qök Fehrow, Spree	437
Nutzer	250,3	Qök Leibsch UP, Spree	438
DYN-Element		14 Proportionale Rückfüllung der Spree-Speicher	441
Abgabeelement	1,4	TS Bautzen, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	442
Abgabeelement	2,4	TS Quitzdorf, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	443
Abgabeelement	3,34	SB Lohsa I, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	443,5
Abgabeelement	4,4	Speicher Bärwalde, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	444
Abgabeelement	6,4	TS Spremberg, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	445
Abgabeelement	5,24	SB Burghammer, quasiprop. Zwischenrückfüllung über DYN 14	445,1
Abgabeelement	5,14	SB Dreiweibern, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	446
Abgabeelement	5,04	SB Lohsa II, quasiproportionale Zwischenrückfüllung	447
Abgabeelement	7,4	Speicher Cottbuser See, Zwischenrückfüllung	448
DYN-Element		dyn014_01_X082	448,01
Abgabeelement	4,401	Zusatzabg Bw bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,101
Abgabeelement	1,401	Zusatzabg Bz bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,102
Abgabeelement	2,401	Zusatzabg Qz bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,103
Nutzer	144,22	NUEL fuer Sulfat, DYN 14.01	448,104
Abgabeelement	5,1401	Rueckf Dw bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,105
Abgabeelement	5,2401	Rueckf Bgh bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,106
Abgabeelement	5,0401	Rueckf LII bzgl Sulfat nach DYN 14, G in DYN 14.01	448,107
DYN-Element		dyn103_X013_3	448,2
Abgabeelement	1,41	TS Bautzen, Stützung Spreewald	448,31
Abgabeelement	2,41	TS Quitzdorf, Stützung Spreewald	448,32
Abgabeelement	3,41	Sp. Lohsa I, Stützung Spreewald	448,33
Abgabeelement	4,41	Sp. Bärwalde, Stützung Spreewald	448,34
Abgabeelement	6,41	TS Spremberg, Stützung Spreewald	448,35
Abgabeelement	5,241	SB Burghammer, Stützung Spreewald	448,36
Abgabeelement	5,141	SB Dreiweibern, Stützung Spreewald	448,37
Abgabeelement	5,041	SB Lohsa II, Stützung Spreewald	448,38
Abgabeelement	7,41	Sp. Cottbuser See, Stützung Spreewald	448,39
Nutzer	270,31	Qmin Stützung Spreewald	448,395
Nutzer	250,31	Qmin Stützung Spreewald	448,396
DYN-Element		14.1 Proportionale Rückfüllung der Spree-Speicher, Spreewald	448,4
Abgabeelement	1,42	TS Bautzen, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,41
Abgabeelement	2,42	TS Quitzdorf, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,42
Abgabeelement	3,42	SB Lohsa I, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,43
Abgabeelement	4,42	Sp. Bärwalde, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,44
Abgabeelement	6,42	TS Spremberg, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,45

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Abgabeelement	5,242	SB Burghammer, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,46
Abgabeelement	5,142	SB Dreiweibern, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,47
Abgabeelement	5,042	SB Lohsa II, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,48
Abgabeelement	7,42	Sp. Cottbuser See, quasiprop. Zwischenrückfüllung, Spreewald	448,49
Abgabe-End-Element	3	Abgabe-End-Element SB Lohsa I	450,5
DYN-Element		14.101 Berueckksichtigung Sulfat nach DYN 14.1	450,501
Abgabeelement	4,421	Zusatzabg Bw bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,502
Abgabeelement	1,421	Zusatzabg Bz bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,503
Abgabeelement	2,421	Zusatzabg Qz bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,504
Nutzer	144,23	NUEL fuer Sulfat, DYN 14.101	450,5045
Abgabeelement	5,1421	Rueckf Dw bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,505
Abgabeelement	5,2421	Rueckf Bgh bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,506
Abgabeelement	5,0421	Rueckf LII bzgl Sulfat nach DYN 14.1, G in DYN 14.101	450,507
DYN-Element		15 Aktuelle Reserven in TS Bautzen, Quitzdorf, Lohsa I	450,6
Abgabeelement	5,05	SB Lohsa II, zus. Abg. f. Qmin Gr. Tränke u. Einh. Abg.kap.	451
Nutzer	250,4	Qmin Leibsch UP für 2.Runde m. zus. Abg. aus LoII	455
Nutzer	270,4	Qmin Gr.Tränke UP für 2.Runde m. zus. Abg. aus LoII	456
Abgabeelement	5,06	SB Lohsa II, Zwischenrückfüllung, BETA=1	457
DYN-Element		14.103 Qmin Spreewitz bzgl Sulfat	458
Nutzer	190,3	Qmin Spreewitz bzgl Sulfat, DYN 14.103	459
DYN-Element		73 Reservebildung Spreespeicher vor Schifffahrt	460
Abgabeelement	1,5	Rückfüllung bis NG	461
Abgabeelement	2,5	Rückfüllung bis NG	462
Abgabeelement	5,25	SB Burghammer, Reservebildung	462,2
Abgabeelement	5,15	SB Dreiweibern, Reservebildung	462,3
DYN-Element		73.1 Reservebildung Spree-Speicherverbund vor Schifffahrt	462,35
Abgabeelement	4,5	Speicher Bärwalde, Reservebildung	462,38
Abgabeelement	5,07	SB Lohsa II, Reservebildung	462,4
Abgabeelement	6,5	Rückfüllung TS Spremberg vor Flutung Sachsen	462,5
Abgabeelement	7,5	Speicher Cottbuser See, Reservebildung	462,6
Nutzer	270,41	Qmin Gr. Tränke vor Schifffahrt	462,601
Nutzer	262,1	PW Neuhaus zur Speisung SH Oder-Spree-Kanal	462,7
DYN-Element		13.1 Festlegung G-Werte für Flutung SN aus TS Bautzen	462,8
Abgabeelement	1,61	Abgabe für Flutung SN aus Reserve NWA/LMBV (G<DYN)	462,9
Nutzer	156,4	Qmin Boxberg, Schwarzer Schöps (für Heber Bärwalde)	463
Nutzer	176,6	Qök uh. Flutung Scheibe/Spreetal-NO/Burghammer	463,3
Nutzer	179,3	Qök Burgneudorf, Kleine Spree	463,4
Nutzer	190,5	Qök Flutung	463,5
DYN-Element		17 B ÜL in Kl. Spree für SB Dreiweibern + Flutung RL Scheibe	464
Nutzer	703	Bereitstg. ÜBL Kl.Spree f. Füll. Drw. u. RL Scheibe	465
Nutzer	704	Bereitstellung Zuleiter Dreiweibern	466
Abgabeelement	5,16	Abgabe Überstau Dreiweibern	466,9
Abgabe-End-Element	5,1	Abgabe-End-Element SB Dreiweibern (Kap. u. NG um 10 Mio m³ verringert, 17.4.98)	467

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
DYN-Element		50.2 Anpassen des Vol und Sl Sp. Dreiweibern	467,5
Nutzer	804	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Zuleit. Dreiw.(N704)	468
DYN-Element		7 Flutungsmengen Restlöcher Kleine Spree	470
Nutzer	176,5	Flutung RL Burghammer	470,1
Nutzer	9176,31	GRMSTEU: Rohrleitung TRS Scheibe-SB BGH	470,15
Abgabe-End-Element	5,2	Abgabe-End-Element SB Burghammer	470,2
DYN-Element		17 Z Zurücknahme ÜBL Kl. Spree N703 (N803)	470,25
Nutzer	803	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Kleine Spree (N703)	470,3
DYN-Element		14.1031 Qmin Spreewitz bzgl Sulfat	470,4
Nutzer	190,301	Qmin Spreewitz bzgl Sulfat, DYN 14.1031	470,5
DYN-Element		18 Auffüllung der Sp. Lohsa II und Bärwalde aus der Spree	471
Nutzer	136,3	Zufluß Speicher Bärwalde aus Spree	471,1
Nutzer	705	Einleitung für Füllung SB Lohsa II	471,2
DYN-Element		51 B Zuleitung aus Kl. Spree für Lohsa II, Scheibe, SNO	472
Nutzer	175,3	Elbe-Überl. Kleine Spree (Bereitstellung)	472,1
Nutzer	707	Bereitstellung Zul. Dreiweibern f. Füllung Lohsa II	472,2
Abgabeelement	5,08	Abgabe Überstau Lohsa II	472,8
Abgabeelement	4,6	Abgabe Überstau Bärwalde	472,9
DYN-Element		14.104 Berücksichtigung Sulfat vor AEND	472,95
Abgabeelement	4,7	Abgabe Bärwalde Sulfat Schluss, G DYN 14.103	473
Abgabeelement	1,62	Abgabe Bz Sulfat Schluss, G DYN 14.104	473,01
Abgabeelement	2,52	Abgabe Qz Sulfat Schluss, G DYN 14.104	473,02
Nutzer	144,24	NUEL fuer Sulfat, DYN 14.104	473,025
DYN-Element		14.105 Setzung Qmin uh. Bw, Bz, Qz bzgl Sulfat	473,03
Nutzer	134,1	Qmin Bw bzgl Sulfat, DYN 14.105	473,04
Nutzer	112,5	Qmin Bz bzgl Sulfat, DYN 14.105	473,05
Nutzer	152,01	Qmin Qz bzgl Sulfat, DYN 14.105	473,06
Nutzer	190,31	Qmin Spreewitz bzgl Sulfat, DYN 14.105	473,07
Abgabe-End-Element	6	Abgabe-End-Element TS Spremberg	473,1
Abgabe-End-Element	5	Abgabe-End-Element Speicher Lohsa II	473,2
Abgabe-End-Element	4	Abgabe-End-Element Speicher Bärwalde	473,3
Nutzer	807	Rücknahme nicht benötigter ÜBL (N707)	474
Nutzer	175,4	Elbe-Überl. Kleine Spree (Rückf. Überschuss)	474,02
Nutzer	703,1	Bereitstg. ÜBL Kl.Spree f. Füll. LII, RL Scheibe, SNO	474,05
Nutzer	176,3	Entnahme RL Scheibe (Nachsorgephase)	474,07
Nutzer	176,4	Entnahme RL Spreetal-NO (Nachsorgephase)	474,08
Nutzer	176,1	Flutung RL Scheibe	474,1
Nutzer	176,2	Flutung RL Spreetal-NO	474,2
DYN-Element		51 Z Zurücknahme ÜBL Kl. Spree N703.1 (N803.1)	474,25
Nutzer	803,1	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Kleine Spree (N703.1)	474,3
Nutzer	195,4	Heberleitung KW Schwarze Pumpe nach Spreetal-NO (Bereitstellung, Überschuss 431.2)	474,4
DYN-Element		42 Korrektur des Zulaufs Lohsa II von der Spree	483
Nutzer	805	Rücknahme nicht benötigter ÜBL Zul. Lohsa II (N705)	485
Abgabeelement	1,71	Rückfüllung nicht benötigter Abgaben Flutung SN	485,5
Nutzer	212,7	Entnahme RL Greifenhain ((Nachsorgephase))	485,63
Nutzer	212,8	Entnahme RL Gräbendorf (Nachsorgephase)	485,67
Nutzer	216,4	Entnahme Restlochseen Dobra (Nachsorgephase)	485,7
Nutzer	218,3	Entnahme Restlochseen Ottergraben (Nachsorgephase)	485,8
Nutzer	240,5	Entnahme Lichtenauer See (Nachsorgephase)	485,9

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
DYN-Element		71 Flutung RL Graebendorf aus dem Südumfluter	486
Nutzer	240,33	Flutung RL Gräbendorf	487
DYN-Element		72 Flutung RL Seese/Schlabendorf aus dem Südumfluter	487,5
Nutzer	240,43	Flutung RL Seese/ Schlabendorf	488
DYN-Element		72.1 Bereitstellung Tranitzaltlauf, Qmin Flutung	489
Nutzer	205,81	Bereitstellung Tranitz-Altlauf für Flutung Klinge (DYN 72.1)	489,5
Nutzer	709	Bereitstellung ÜL aus der Spree zum RL Klinge	490
Nutzer	205,5	Mindestabfluß Tranitzfließ bei Füllung RL Klinge	490,5
Nutzer	205,3	Flutung RL Klinge	491
DYN-Element		72.2 Rücknahme Tranitzaltlauf & SpreeÜL nach Flutung	491,5
Nutzer	809	Rücknahme überschüss. Wassers der ÜL zum RL Klinge	492
Nutzer	205,82	Rücknahme Tranitz-Altlauf nach Flutung Klinge (DYN 72.2)	492,5
DYN-Element		37 Überleitung Schwarze Elster (PW Spreewitz)	493
Nutzer	901	Spülung Lohsa II	493,01
Abgabeelement	1,6	Abgabe für LMBV	493,1
Abgabeelement	2,6	Abgabe für LMBV	493,2
Nutzer	144,2	Neißewasserüberleitung	494
Nutzer	190,4	Flutungswasserüberleitung in Schwarze Elster-Gebiet	495
Nutzer	410,2	Qök Trado	501
Nutzer	409,1	Bifi Rockwitzgraben	502
Nutzer	410,1	Bifi Deutschbaselitz/Döbra	503
Nutzer	411,1	Bifi Klosterwasser	504
Nutzer	412,1	Bifi Doberschützer Wasser	505
DYN-Element		27 Überleitung zur Wudra	510,9
Nutzer	413,4	Überleitung in die Wudra	511
Nutzer	413,1	Bifi Neudorf Klösterlich	512
Nutzer	413,2	Wasserkraftwerk Brischko	513
Nutzer	413,3	Qmin Wehr Brischko	514
Nutzer	414,2	Qök Zescha	521
Nutzer	414,1	Bifi Neschwitz	522
Nutzer	415,1	Bifi Langner/Greim/Wartha/Laus.Karp.-Feinf./Königsw.	523
Nutzer	415,11	zusätzl. Ablassen der Bifi-Teiche N415.1 (R>E)	523,1
Nutzer	416,2	Bifi am Koblenzer Graben	523,5
Nutzer	415,2	Qmin Hoyersw.Schwarzw. an BP ÜL zum Sp. Knappenrode	524
DYN-Element		22 Auffüllung des Sp. Knappenrode	525
Nutzer	415,3	Überleitung zum Speicher Knappenrode	526
Abgabeelement	8,1	Abgabe Sp. Knappenrode für Nutzer an den BP 417 und 419	527
Nutzer	417,1	KGA Maukendorf (DKGA)	528
Nutzer	417,5	ÜL zum Schwarzen Graben	529
Nutzer	419,1	Qök Schwarzer Graben	530
Nutzer	419,11	Wasserbedarf Spannteich	530,1
Nutzer	419,3	Brauchwasserverein Knappenrode	531
Nutzer	419,2	Nutzer an der Knappenseeleitung	532
Nutzer	419,4	Rück-ÜL aus Schwarzem Graben	533
Nutzer	417,3	KGA Maukendorf und Gondelteich Hoyerswerda	534
Nutzer	417,2	Qök Altes Schwarzewasser	535
Nutzer	417,4	KG Maukendorf, Spohla, Hoyerswerda	536
DYN-Element		54 SIA-Setzung für Sp. Knappenrode	537
Abgabeelement	8,2	Zwischenrückfüllung Sp. Knappenrode	538
Nutzer	420,1	Klärwerk Hoyerswerda	539

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Nutzer	420,6	Versickerung Schwarze Elster bis Neuwiese	539,1
DYN-Element		52 Abgabe Sp. Knappenrode für Qök Neuwiese	540
Abgabeelement	8,3	Abgabe Sp. Knappenrode für Qök Neuwiese	541
Nutzer	420,5	Qök Neuwiese	542
Abgabe-End-Element	8	Abgabe-End-Element Speicher Knappenrode	543
Nutzer	415,4	Dorfgraben Zeißig	544
DYN-Element		53 Rückleitung unnötiger Knappenrode-Überleitung	545
Nutzer	416,1	Rück-ÜL aus SB Knappenrode	546
Nutzer	420,2	Bewässerung oh. Neuwiese	547
Nutzer	420,4	Qmin Neuwiese	548
Nutzer	418,1	ökolog. Zufluss zum Lugteichsystem	549
Abgabeelement	10,1	Abgabe Speicher Wallroda für N461.1 (Qmin Steinbach)	551
Nutzer	461,1	Qmin Steinbach	552
Abgabe-End-Element	10	Abgabe-End-Element Speicher Wallroda	553
Nutzer	462,1	Kläranlage Radeburg	554
Nutzer	463,1	Qmin Großdittmannsdorf	555
DYN-Element		24 Überleitung in Sp. Radeburg 2	555,9
Nutzer	463,2	Überleitung zum Speicher Radeburg 2	556
Abgabeelement	11,1	Abgabe Sp. Radeburg 2 für Qmin Dobra, TW, Qmin Kl. Rasch.	557
Nutzer	466,1	Qmin Dobrabach	558
Nutzer	465,1	Trinkwasserabgabe aus Speicher Radeburg 2	559
Abgabeelement	12,1	Abgabe Speicher Nauleis für Qmin Hopfenb. und Kl.-Rasch.	560
Nutzer	468,1	Qmin TS Nauleis	561
Nutzer	469,1	Kläranlage Großenhain	562
Nutzer	469,2	Qmin Kleinraschütz	563
Abgabe-End-Element	11	Abgabe-End-Element Speicher Radeburg 2	564
Abgabe-End-Element	12	Abgabe-End-Element Speicher Nauleis	565
DYN-Element		28 Überleitung zur Kl. Röder	565,9
Nutzer	470,5	Überleitung zur Kleinen Röder	566
Nutzer	470,3	Stahlwerk Gröditz	567
Nutzer	470,2	Verluste am Gabelwehr	568
Nutzer	470,4	Bifi Frauenhain	569
Nutzer	472,1	Bifi Koselitz/Tiefenau	571
Nutzer	473,2	Bifi Kröbeln	572
Nutzer	473,1	Beregnung Oschätzchen	573
Nutzer	441,1	Grubenwasser Tagebau Meuro zur Pößnitz	611
Nutzer	441,3	Infiltrationsverluste Pößnitz	613
Nutzer	442,1	Bifi Zeisholzteiche	621
Nutzer	443,2	Wasserwerk Tettau aus Ruhländer Schwarzwasser	622
Nutzer	443,1	Bewässerung Ruhländer Schwarzwasser	623
Nutzer	452,1	Qök Königsbrück	641
Nutzer	454,1	Wasserwerk Tettau aus Pulsnitz	642
Nutzer	481,2	Infiltrationsverluste in Kleiner Elster	652
Nutzer	481,3	Teichwirtschaften Kleine Elster	653
Nutzer	430,1	Infiltrationsverluste oh. BP Zuleiter SB Niemtsch	654
Nutzer	430,4	Qmin am BP 430.0 (Zuleitung zum SB Niemtsch)	655
Nutzer	177,1	Zuleitungen für SNO Eisen (mit Ausleitung ÜL 1) dyn037	655,2
DYN-Element		8 Abgabe RLK für Qmin Rainitza	655,5
Abgabeelement	13,3	Abgabe für Qmin Rainitza	656

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
Nutzer	437,2	Grubenwasser Tagebau Meuro zur GWRA Rainitza	656,5
Nutzer	431,6	Horizontalbrunnen Hoyerswerda	657
DYN-Element		8_1 Abgabe RLK für PW Bahnsdorf (Qmin Rainitza, Meuro/Greifenhain)	657,5
Abgabeelement	13,6	PW Bahnsdorf für GWRA Rainitza (für Qmin Rainitza und Flutung Meuro/GH) dyn008_1	658
Nutzer	432,7	PW Bahnsdorf für GWRA Rainitza (für Qmin Rainitza und Flutung Meuro/GH) dyn008_1	658,5
Nutzer	432,4	Überleitung GWRA zur Rainitza	659
Nutzer	437,4	Mindestabfluß Rainitza	659,5
Nutzer	432,3	Flutung RL Greifenhain	660
Nutzer	440,1	Infiltrationsverluste von Kleinkoschen bis Biehlen	664
Nutzer	440,2	Klärwerk Senftenberg	665
Abgabeelement	9,1	Abgabe SB Niemtsch für Qök Biehlen	665,8
Nutzer	440,4	Qök Biehlen	666
Abgabeelement	9,2	Rückfüllung SB Niemtsch	667
DYN-Element		46 Absenkziele RLK für Qök Lauchhammer	667,9
Abgabeelement	13,4	Abgabe für Qök Lauchhammer	668
Nutzer	450,1	Kraftwerk BASF	668,5
Nutzer	450,4	Qök Lauchhammer	670
Abgabeelement	13,5	Rückfüllung nach Abgabe für Qök Lauchhammer	671
Nutzer	480,1	Qök Bad Liebenwerda	672
DYN-Element		23 Auffüllung des Sp. Niemtsch	672,4
Nutzer	430,7	Zuleiter zum SB Niemtsch	672,5
Abgabe-End-Element	9	Abgabe-End-Element Speicherbecken Niemtsch	672,6
Nutzer	450,5	Ökowasser für Kl. Elster	673,5
Nutzer	450,6	Ökowasser für Hammergraben	673,6
Nutzer	450,7	Ökowasser für Pößnitz (nur Entnahme)	673,7
DYN-Element		45 Ökowasser in die Pössnitz (Rückleitung)	673,8
Nutzer	441,2	Ökowasser für Pößnitz (nur Rückleitung)	673,9
Nutzer	440,3	Qmin Biehlen	673,95
Nutzer	450,3	Qmin Lauchhammer	674
DYN-Element		41 Berechnung der Nachsorgemenge für die RLK	678
Nutzer	418,3	Elbe-Überl. Schwarze Elster (Bereitstellung)	678,1
Nutzer	433,4	Ob. Landgraben für RLK (Bereitstellung mit Kapazität)	678,3
Nutzer	177,2	Zuleitungen für SNO von HSchwP und KlS (mit Ausleitung ÜL 1) dyn037	678,5
Nutzer	430,2	ÜL RLK aus SE (nach Koschen) Bereitstellung mit Kapazität	679
Nutzer	432,8	Flutung RLK (Meuro)	680
Abgabe-End-Element	13	Abgabe-End-Element Speicher Restlochkette	681
Nutzer	432,5	Max. anzustrebender Auslauf aus RLK-Speicher (höchstens Ableiterkapazität)	682
DYN-Element		41_1 für RLK: Rücknahme Ob. Landgraben und SE	682,3
Nutzer	433,5	Ob. Landgraben für RLK (Bereitstellung mit Kapazität) Rücknahme	682,6
Nutzer	431,5	ÜL RLK aus SE (nach Koschen) Rücknahme	682,9
Nutzer	433,1	Ob. Landgraben für Blu (Bereitstellung mit Kapazität) Bereitstellung	683,2
Nutzer	427,2	ÜL Blu aus SE (nach Bluno) Bereitstellung mit Kapazität	683,5
Abgabe-End-Element	14	Abgabe-End-Element Speicher Spreetal/Bluno	683,8
Nutzer	429,1	Schleusung ÜL 6 (max. anzustrebender Auslauf aus Blu)	684,1

Typ	Kennzahl	Name	Rangzahl
DYN-Element		41_2 für Bluno: Rücknahme Ob. Landgraben und SE	684,4
Nutzer	433,2	Ob. Landgraben für Blu (Bereitstellung mit Kapazität) Rücknahme	684,7
Nutzer	427,1	ÜL Blu aus SE (nach Koschen) Rücknahme	685
Nutzer	177,3	Zuleitungen für SNO von HSchwP und KIS (keine Ausleitung ÜL 1) dyn037	685,1
Abgabe-End-Element	15	Abgabe-End-Element Speicher SNO	685,3
Nutzer	178,1	Schleusung ÜL 1 (SNO==>Blu) dyn041	685,6
Nutzer	431,4	Rückleitung PW Spreewitz	685,9
Nutzer	177,4	Zuleitung für SNO von HSchwP und KIS (nach Abgaben RLK) Rücknahme dyn037	686,2
Nutzer	431,2	Rückleitung Heber Schwarze Pumpe	686,5
Nutzer	431,3	Rückleitung ÜL ERLK über RL Spreetal-NO	686,8
Nutzer	176,41	Ausleitung RL Spreetal NO (Nachsorgephase)	687
Nutzer	418,4	Elbe-Überl. Schwarze Elster (Rückf. Überschuss)	687,5
DYN-Element		11_A Flutung Klettwitz und Lugteich	687,7
Nutzer	450,2	Flutung RL Klettwitz	687,8
Nutzer	418,2	Zuleitung für Flutung/Nachsorge des Lugteichsystems	688
DYN-Element		11 b Überlauf Lugteich	688,5
Nutzer	421,1	Überlauf Lugteichsystem in Schleichgraben	689
DYN-Element		38 Rückfüllung nicht benötigter LMBV-Abgaben aus TS Bautzen	691
Abgabeelement	2,7	Rückfüllung nicht benötigter LMBV-Abgaben	692
Abgabeelement	1,7	Rückfüllung nicht benötigter LMBV-Abgaben	693
DYN-Element		dyn020_X020_1	701
Nutzer	710	Flutung/Speicherfüllung Cottbuser See	702
Abgabe-End-Element	7	Abgabe-End-Element SB Cottbuser See	703
DYN-Element		21 Rückleitung aus Nebenschluß Cottbuser See	704
Nutzer	810	Rückleitung aus Nebenschluß Cottbuser See	705
Nutzer	144,3	Rückfüllung nicht benötigter Neißewasserüberleitung	706
DYN-Element		48 Berechnung der Flutungsmenge für RL Berzdorf	706,1
Nutzer	12,2	Flutung RL Berzdorf	706,2
Nutzer	13,3	Flutung Berzdorf	706,3
Abgabe-End-Element	2	Abgabe-End-Element TS Quitzdorf	707
Abgabe-End-Element	1	Abgabe-End-Element TS Bautzen	708
DYN-Element		25 Dahme- Umflut	710
Nutzer	250,2	Überleitung von Spreewasser zur Dahme (DUK)	711
DYN-Element		26 ÜL von Spreewasser über Wernsdorf zur Dahme	712
Nutzer	270,6	Ableitung Oder-Spree-Kanal Wernsdorf, DYN	713
Nutzer	290,1	Beregnung/ Bifi Raum Golßen	819
Nutzer	295,1	Beregnung Storkow-Friedersdorf	820
DYN-Element		dyn074_X039_1	1005

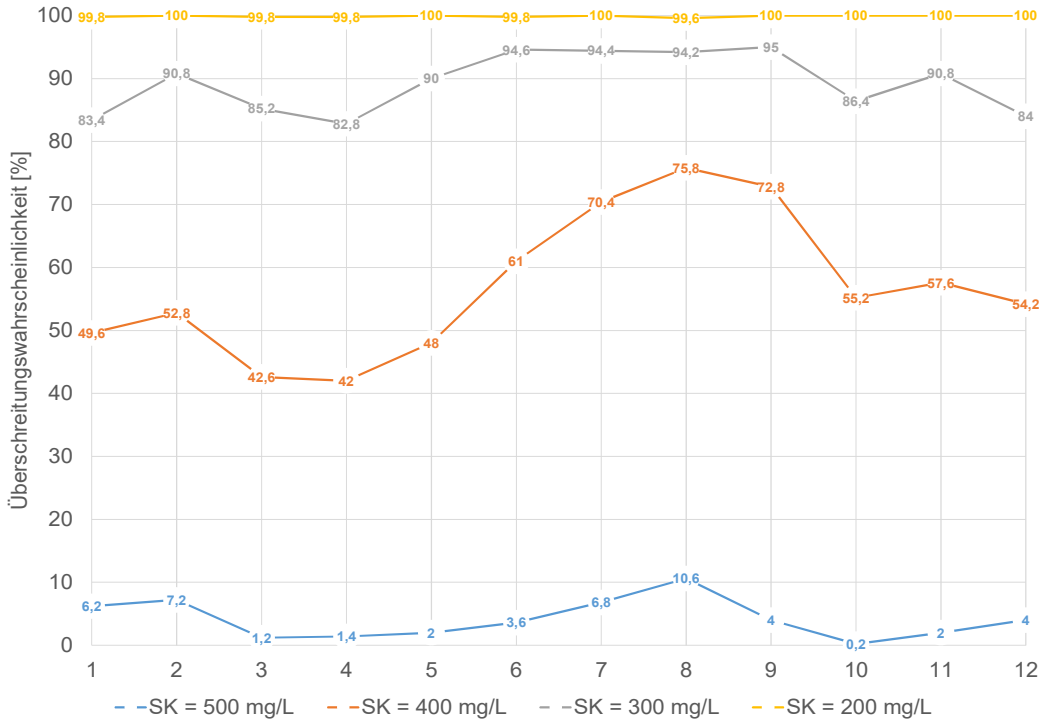
ANHANG 3

Szenarienauswertung

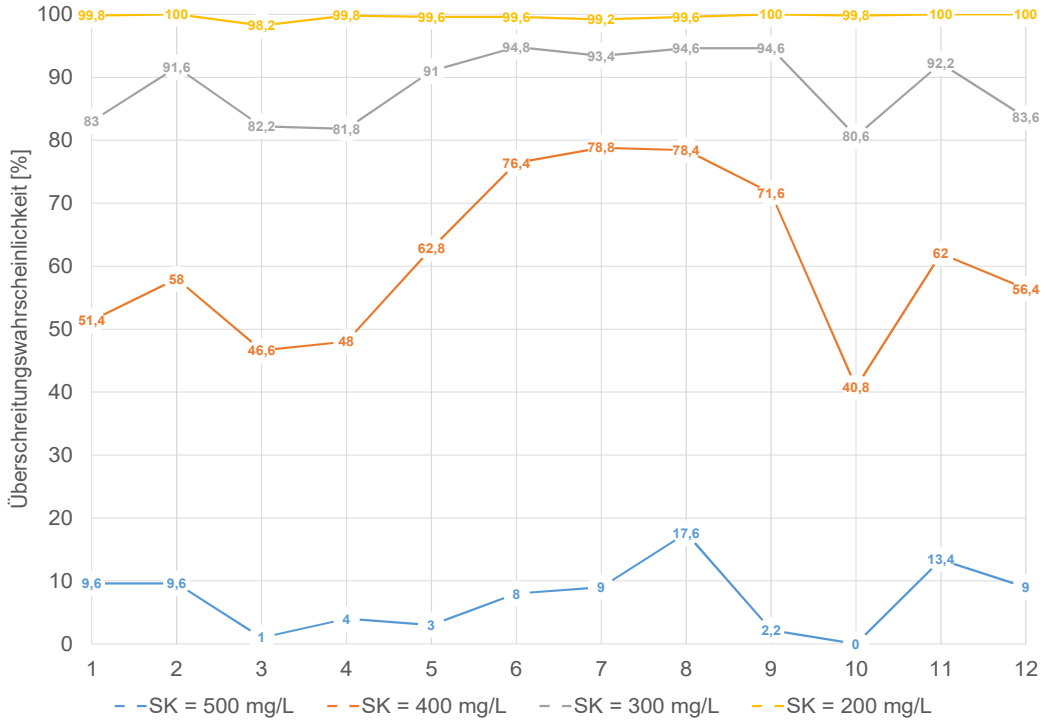
ANHANG 3.1

Auswertung Szenario 2

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

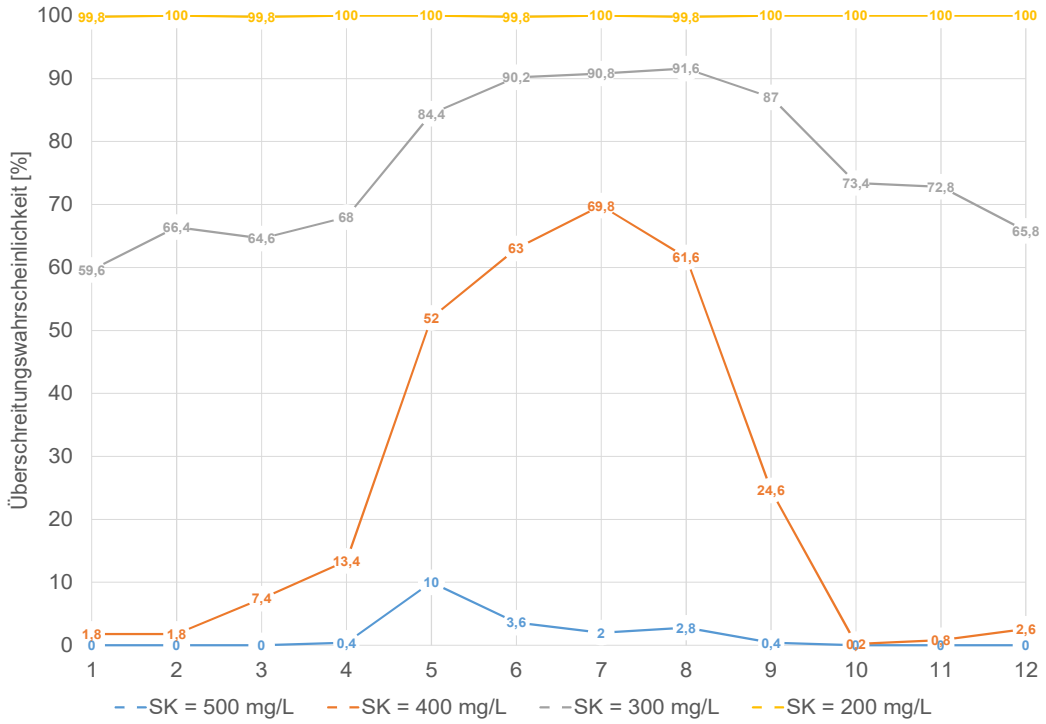


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

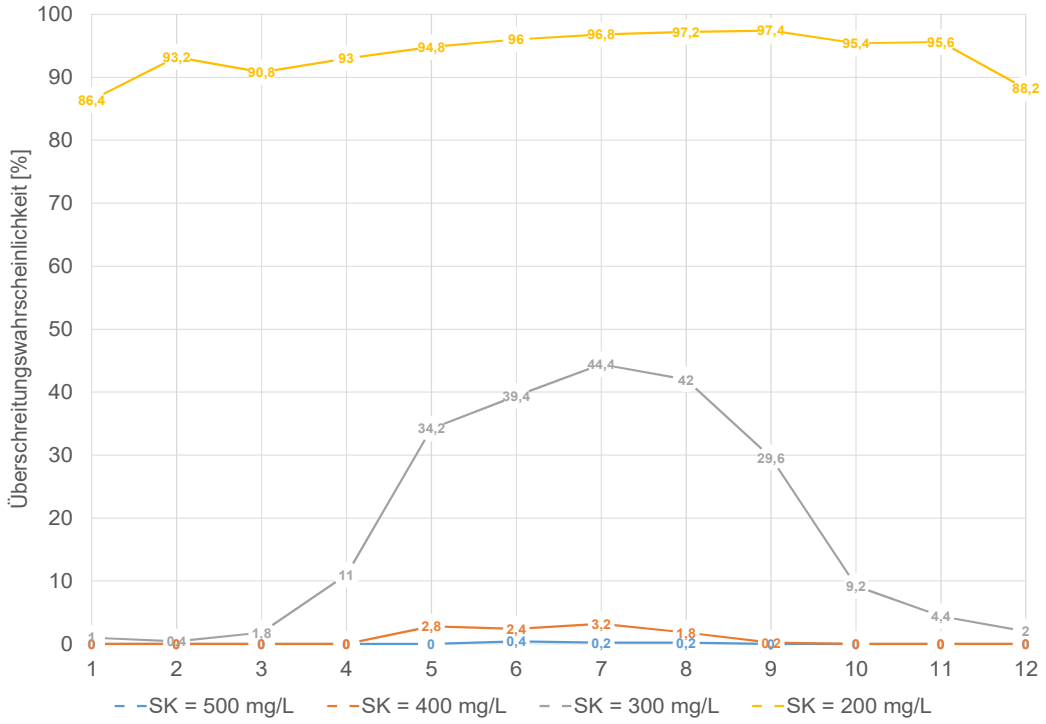


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Bräsinchen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

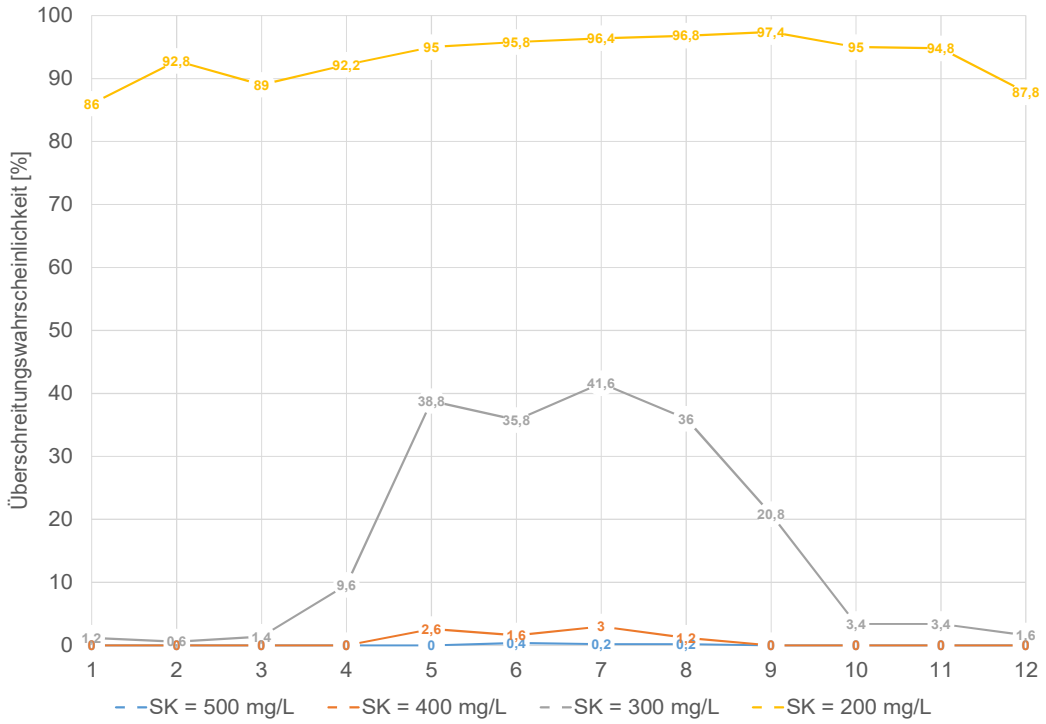


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Leibsch UP

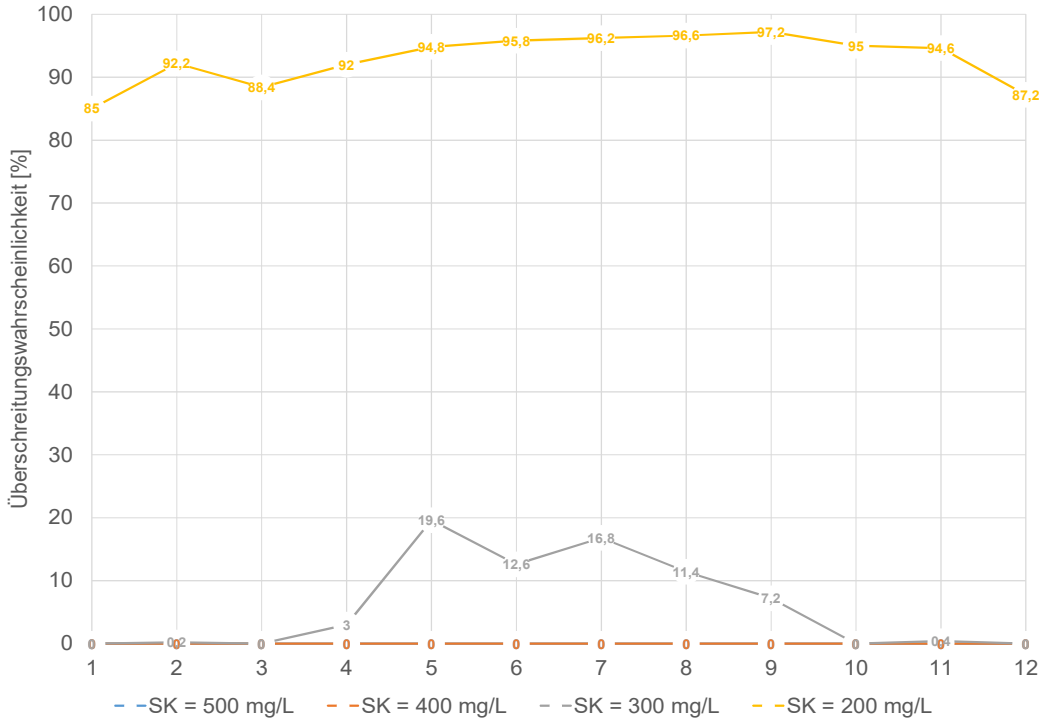


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Briesen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Große Tränke OP



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Rahnsdorf

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	2,2	4,6	1,4	5	1,6	7,4	4,2	9,2	9,4	0,2	11,8	1,4
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	1,8	1	0,8	0	0,8	2,6	2	8,2	0	0	4	0
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,4	1	0,2	0,4	0,6	3	4,8	0	0	0	2	0,2
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0	0,2	0,2	0,4	0	7,4	0	0	0	0	3,4	0
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0	0,2	0	0,4	1,8	0	0	0	0	0	1	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,2	1,4	0	0	0	0	0	0	1,2	0,2
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0,8	0,2
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,2	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0,2
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0,4	0	0,2	0	0	0	0,2	2	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Bräsinchen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	0,8	2,8	0,8	1,4	0,2	2	0,8	3,2	8,8	0	2,4	0,8
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	0,6	0,4	0,6	0,2	0,4	0	1,8	7,4	0	0	2,2	0,2
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0	0	0	0,2	0	0,2	4,6	0,2	0	0	1,2	0,2
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0	0,2	0,4	0	0	2,6	0,2	0	0	0	1,2	0
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0	0,2	0	0,4	0,8	0	0	0	0	0	0,8	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0	0,2	0,2	0,6	0,2	0	0,2	0	1,2	0,2
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0,6	0,4
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0,2	0,2	0,2	0	0	0,4	0	0	0	0	0,6	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0,6	0,2
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0	0	1,4	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0,4	0	0,2	1	0,2	1	0	0	0	0	2,4	0,4

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Leibsch UP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 300 mg/L	1	2018-2022	0,4	3,2	1,6	0,8	1,2	0,8	1,2	1,2	1	0	2	1,4
SK = 300 mg/L	2	2018-2022	0,4	1,2	0,8	0	1,8	0,4	1,2	1	0	0,2	0,6	0,6
SK = 300 mg/L	3	2018-2022	0	0,6	0,2	0,4	0,4	0,2	2	0,2	0,4	0	0	0,4
SK = 300 mg/L	4	2018-2022	0,2	0,4	0,8	0	1,4	1,8	0,6	0,4	0,2	0	0,4	0
SK = 300 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0	0,2	3	0,2	0,2	0	0	0	0,2	0
SK = 300 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0,6	0,8	0,2	0,6	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	7	2018-2022	0	0	1	0,8	2	0,6	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	8	2018-2022	0	1	0	0,4	0,8	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	9	2018-2022	0	0	0,2	0,4	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	10	2018-2022	0,4	0,4	0,4	0,2	1,4	0,6	0,2	0	0	0	0	0,2
SK = 300 mg/L	11	2018-2022	0	0,6	0,2	0,4	0,6	0	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	12	2018-2022	0,6	2	4,8	4,4	7	2,4	0,6	0	0,2	0	1	1

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Briesen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 280 mg/L	1	2018-2022	0,4	1,2	0,8	1,6	6,8	4,2	5,4	2,8	3,2	1,6	1	1,6
SK = 280 mg/L	2	2018-2022	0	0	0	1,2	3,6	1,6	4,4	2	2,2	0,4	0	0
SK = 280 mg/L	3	2018-2022	0	0	0	1,8	2,6	3,2	3,2	1	0,4	0	0	0
SK = 280 mg/L	4	2018-2022	0	0	0,8	0,8	3,4	2,6	1,2	1	0,4	0	0	0
SK = 280 mg/L	5	2018-2022	0	0,2	0	2	2,8	3,2	1,8	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,6	0,6	3,4	1,6	0,4	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	7	2018-2022	0,2	0	0,4	3,8	2,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	8	2018-2022	0	0	0,8	2	1,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	9	2018-2022	0	0	1	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	10	2018-2022	0	0,6	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	11	2018-2022	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0,2

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

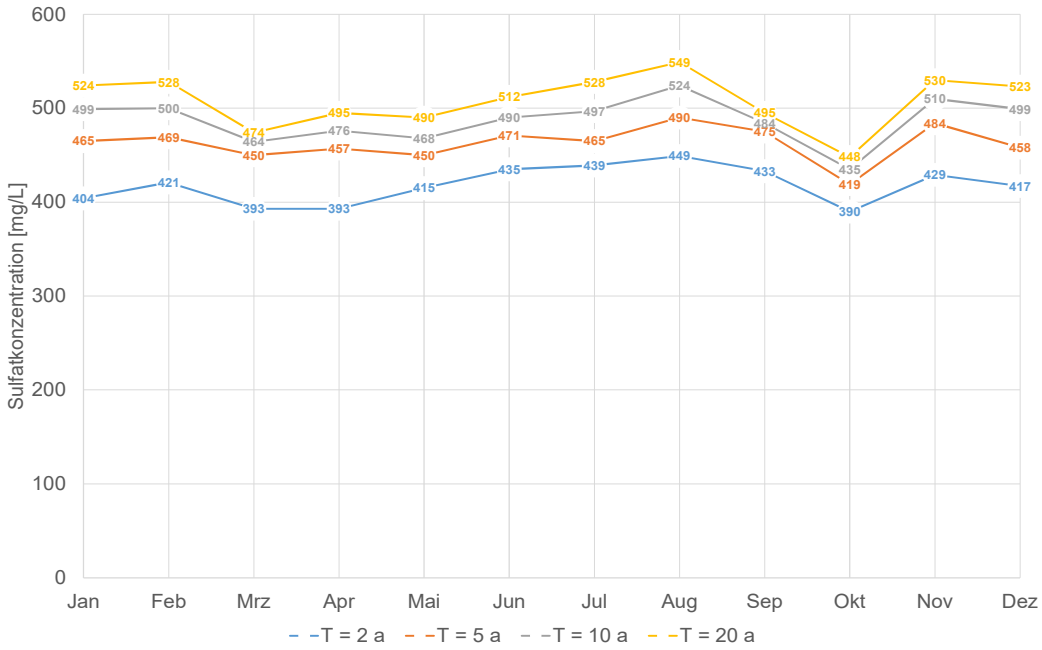
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Große Tränke OP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,4	2,8	1	0,8	0,8	1	1,2	0,8	0,8	0,2	3	0,6
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,8	1,4	0,4	0,4	1	0,2	0,2	0,6	0,2	0,6	0,8	0
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,4	1	0,4	0,6	0	0,6	1	0	0,2	0,2	0,2	0,2
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0,2	0,2	0,8	0,4	0,6	1	0,4	0,8	0,2	0	0,2	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,4	0	0,2	1,2	0,2	0,8	0,4	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,8	0,4	0	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0	0,6	0,8	2	0,4	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,6	0,2	1,2	0,4	0,2	0,4	0	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0	0,4	0,8	0,8	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	0,6	0,2	0,6	1,2	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,2	0,8	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,4	4	3,4	4	6,2	2,4	0,8	0,8	0,8	0	1,6	0,2

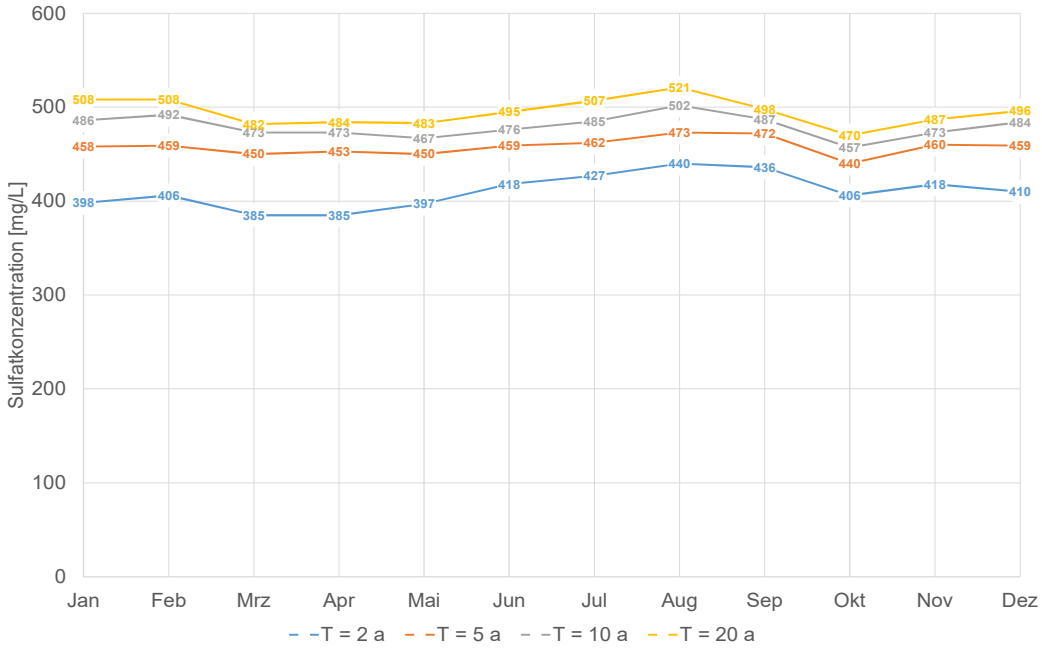
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Rahnsdorf

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,4	2,6	1	1	1,2	1,2	1,6	0,8	1	0,6	3	0,6
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,6	1,4	0,6	0,8	1,4	0,2	0,6	0,8	0,4	0,4	0,8	0,2
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,4	1	0,4	1	0,2	0,4	0,4	0	0,2	0,2	0	0,4
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,4	1	0,2	1	1,2	0,8	1,2	0,2	0	0,2	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0	0,2	1,2	0	1,2	0	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,8	0,4	0,2	0,2	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0	1	1	2,4	0,6	0,4	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,4	0,2	1,4	0,4	0,6	0,4	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0	0,4	0,2	0,6	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	0,6	0,4	1	1,4	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,4	0,6	0,6	0,2	0	0,2	0	0	0	0,2
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,4	2,2	5	4,4	5,6	2,6	0,8	0,4	1,2	0	1,2	0,4

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

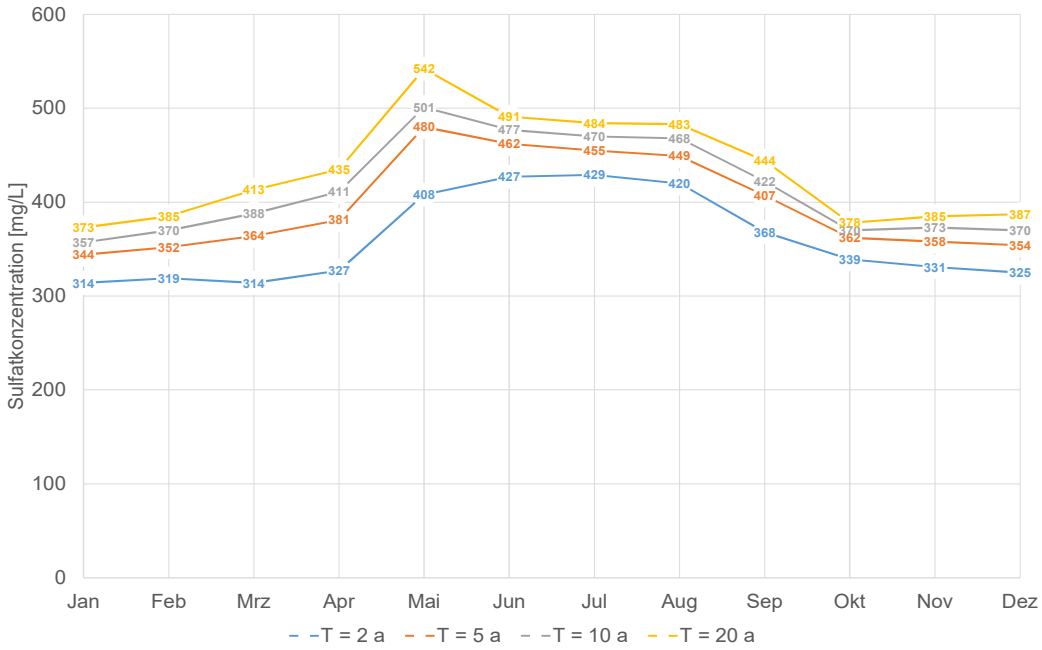


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

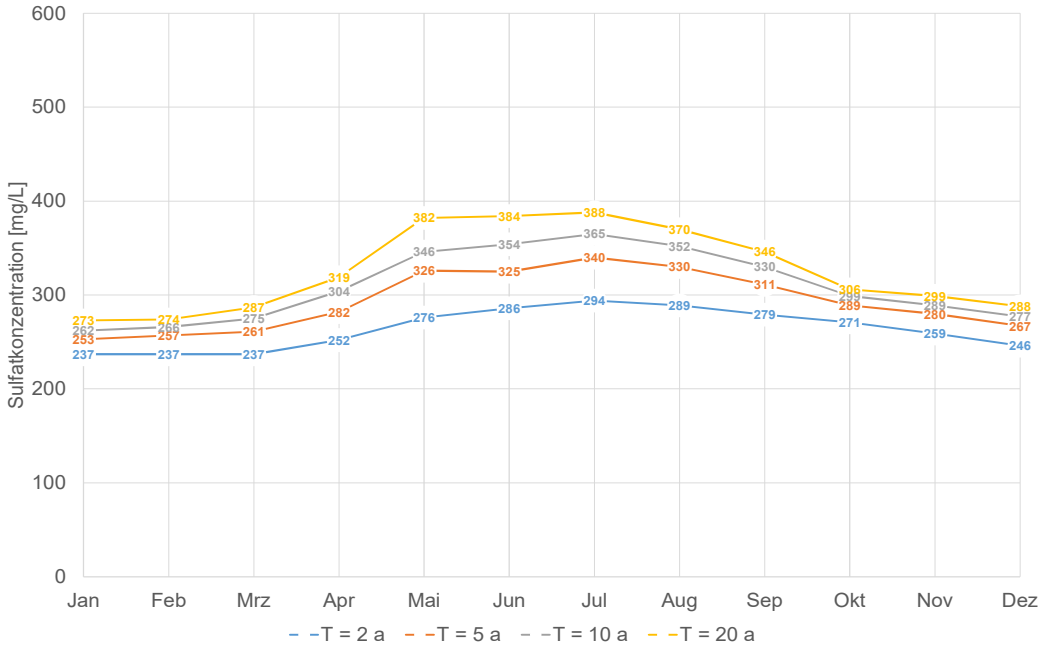


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

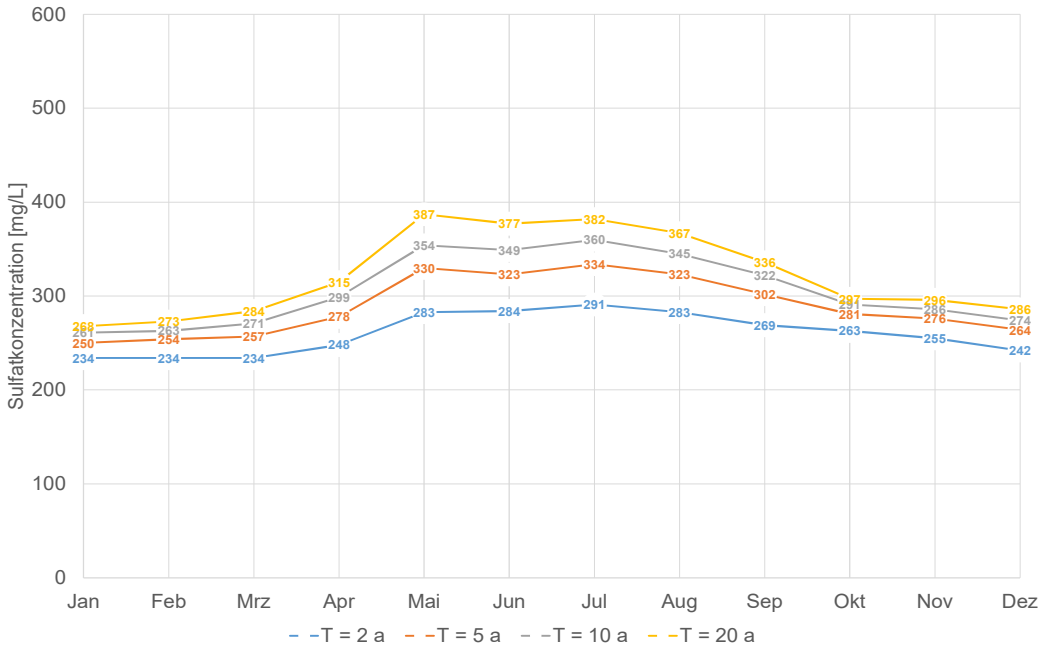


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Leibsch UP

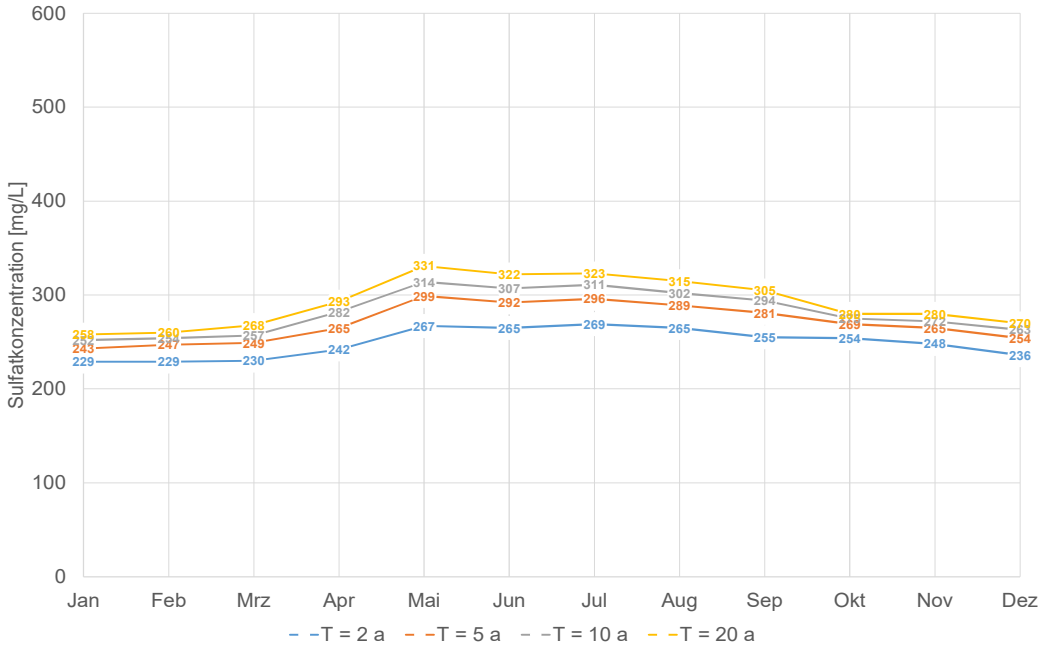


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

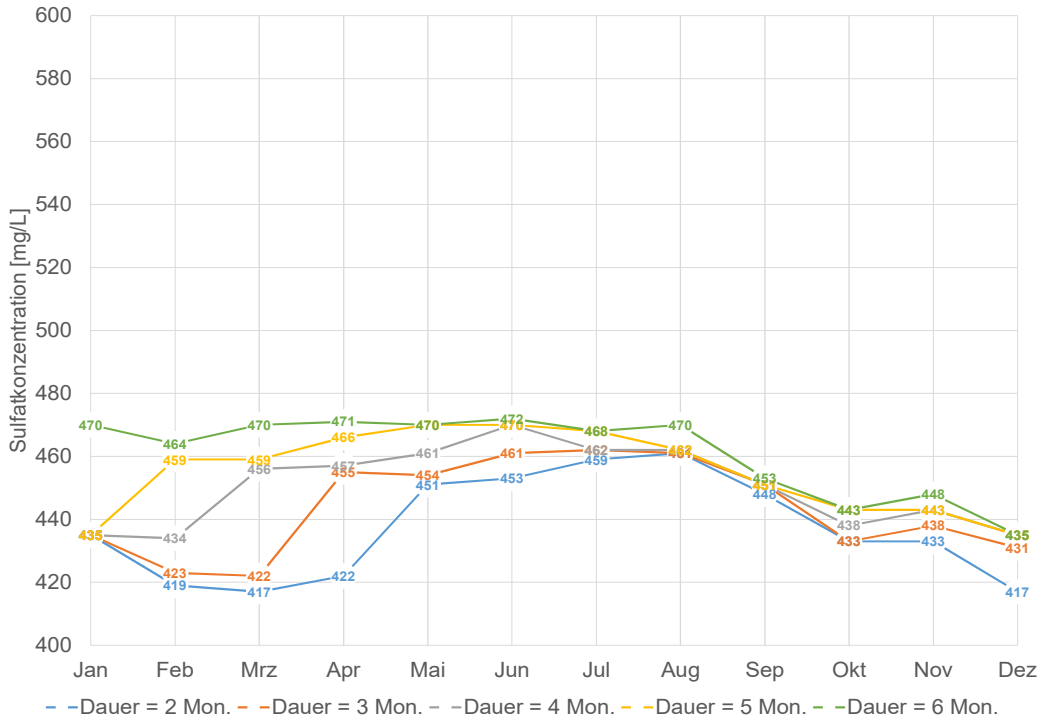


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Große Tränke OP

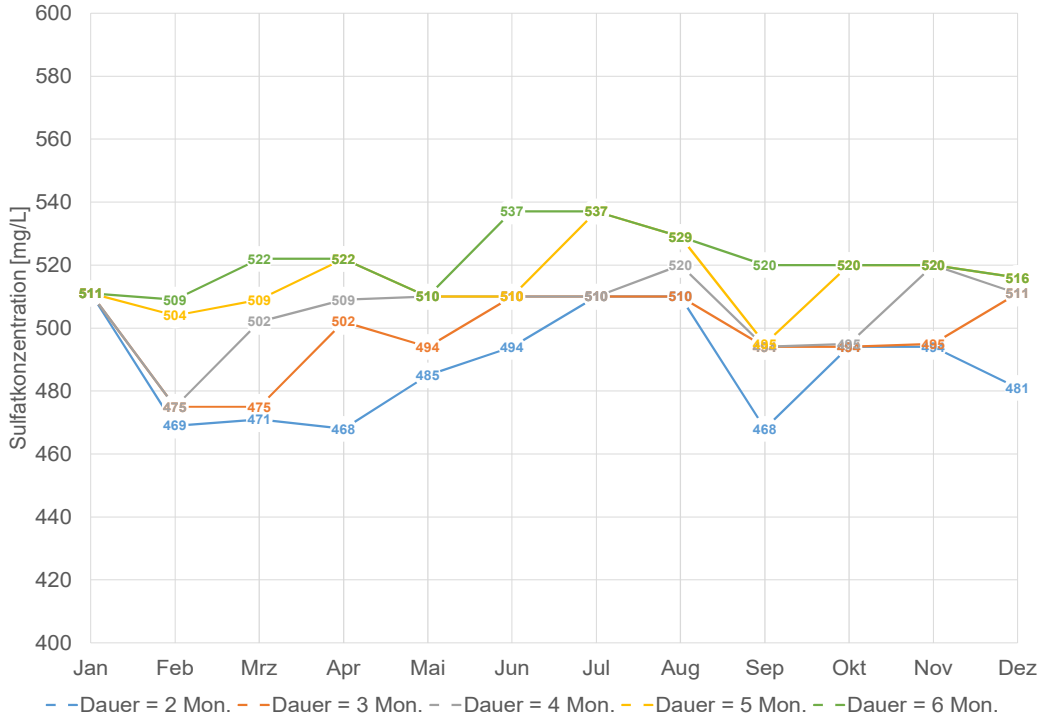


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

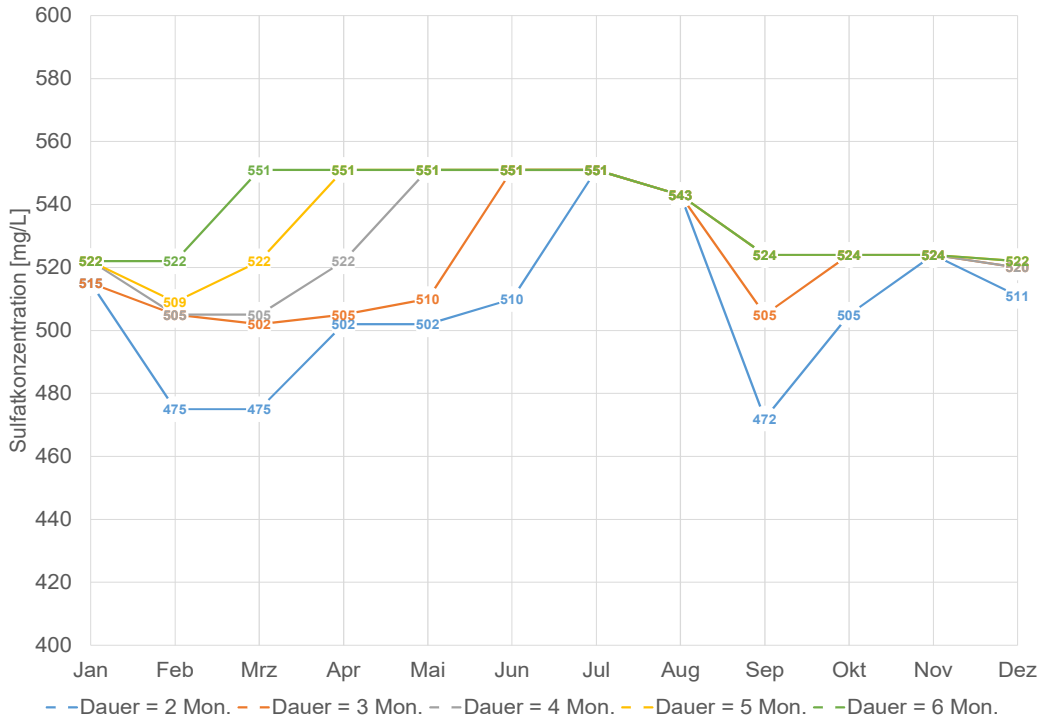


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

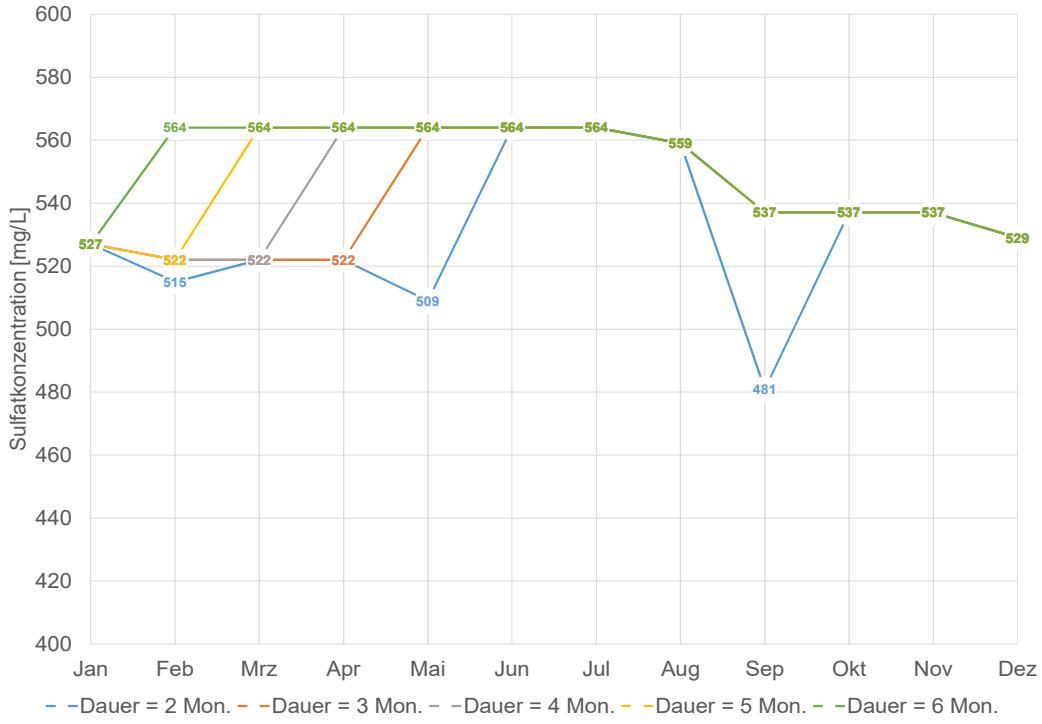


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

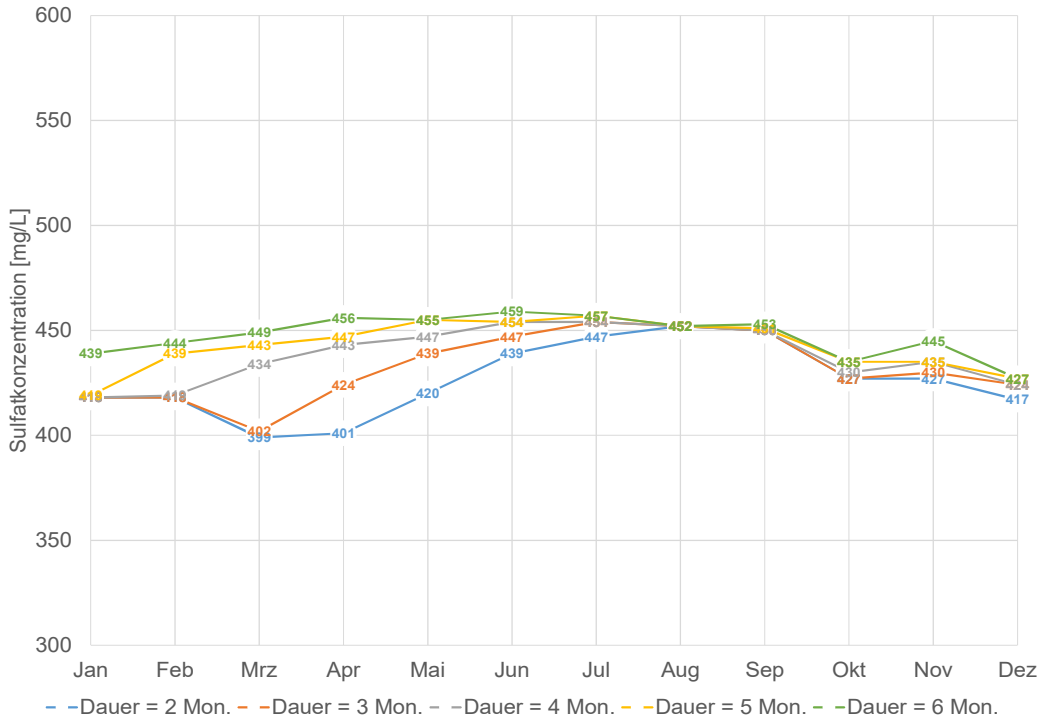


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

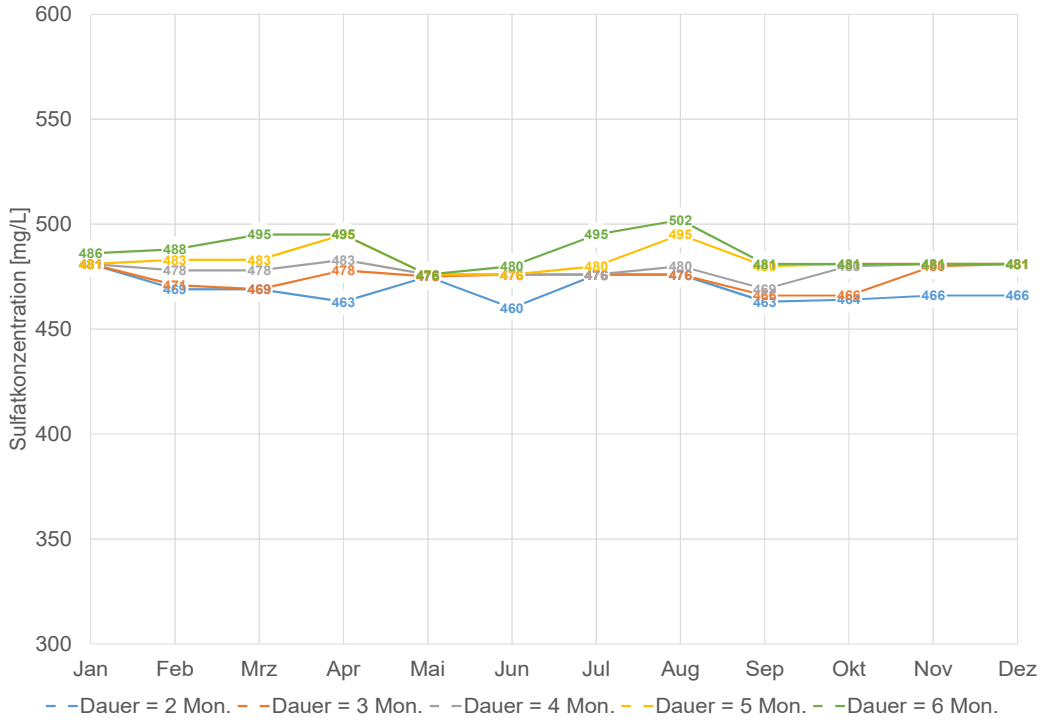


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

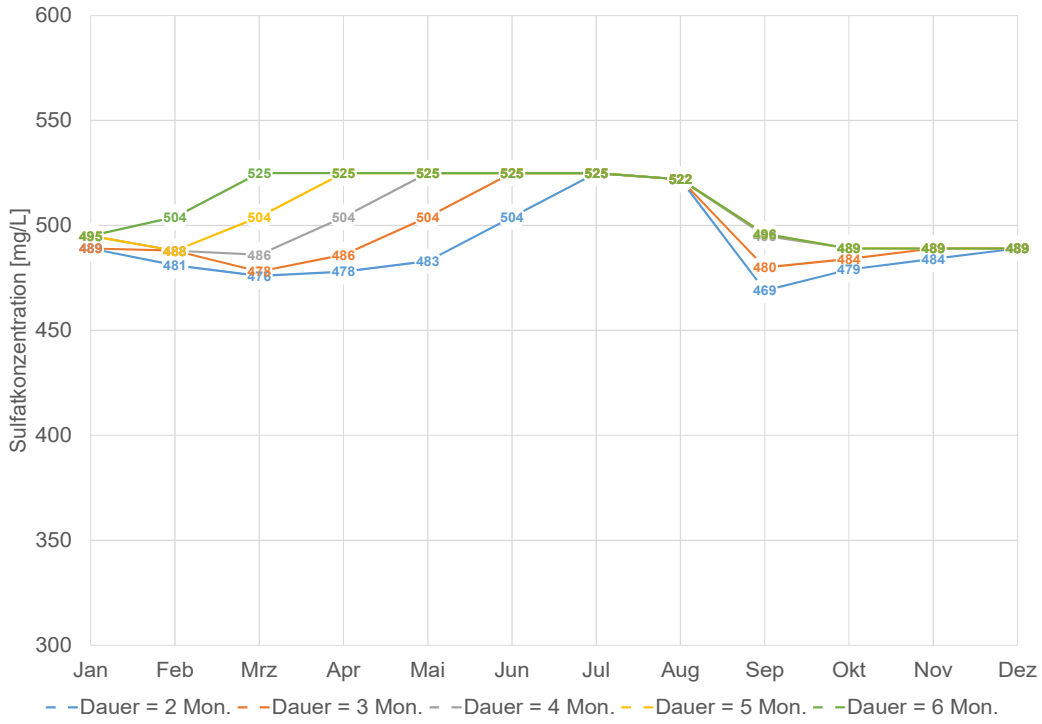


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Bräsinchen

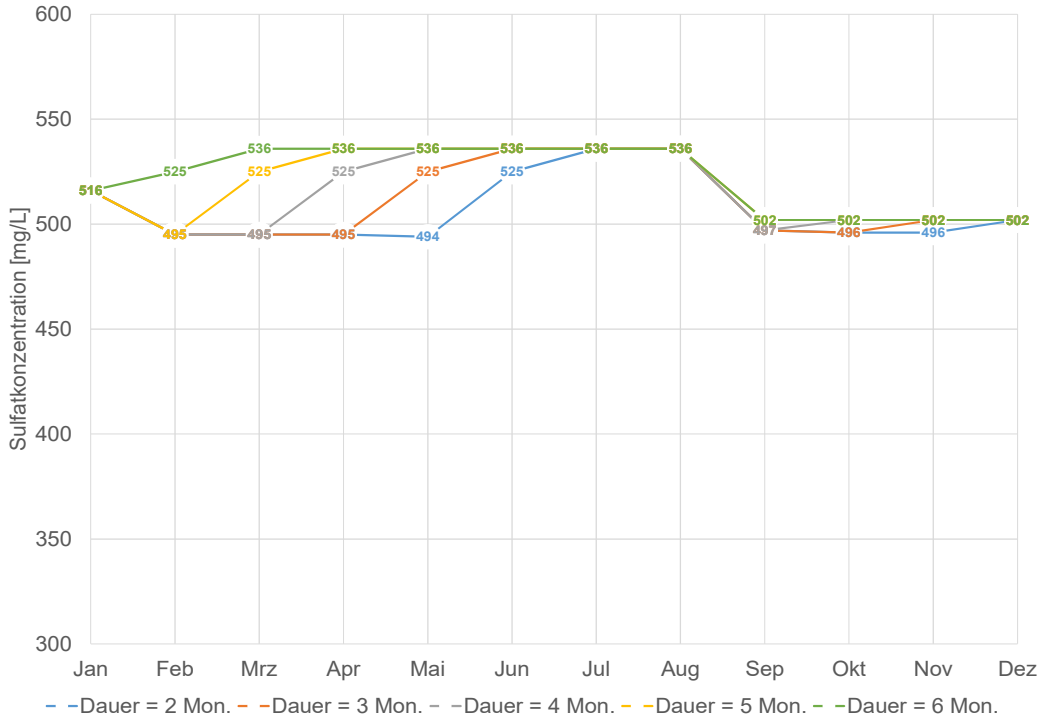


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

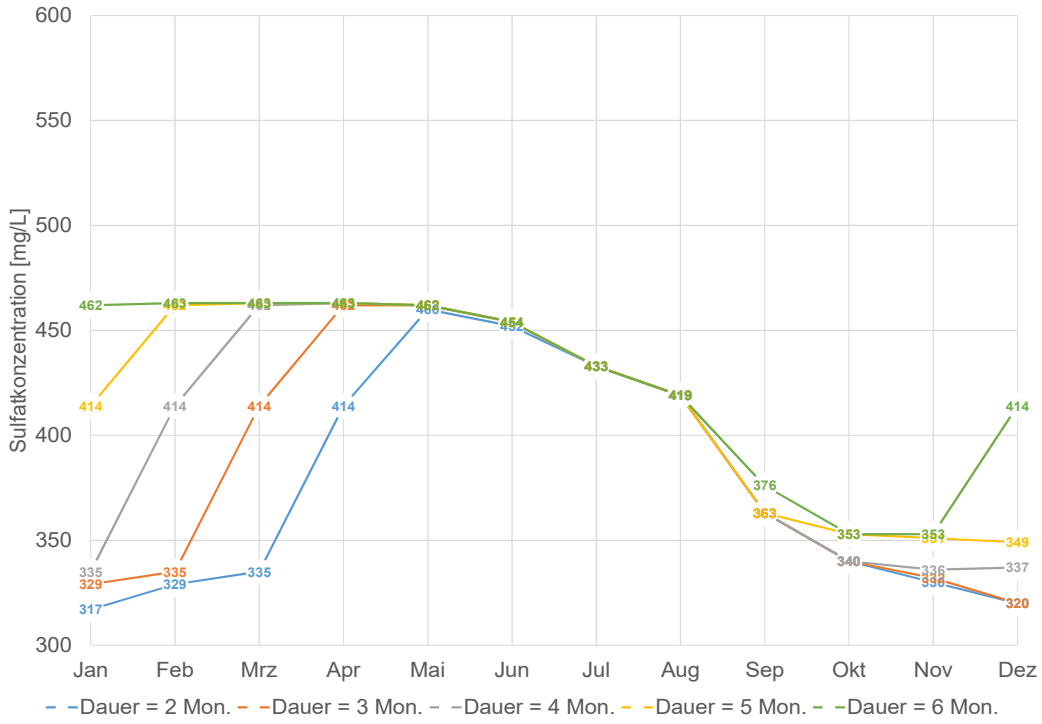


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Bräsinchen

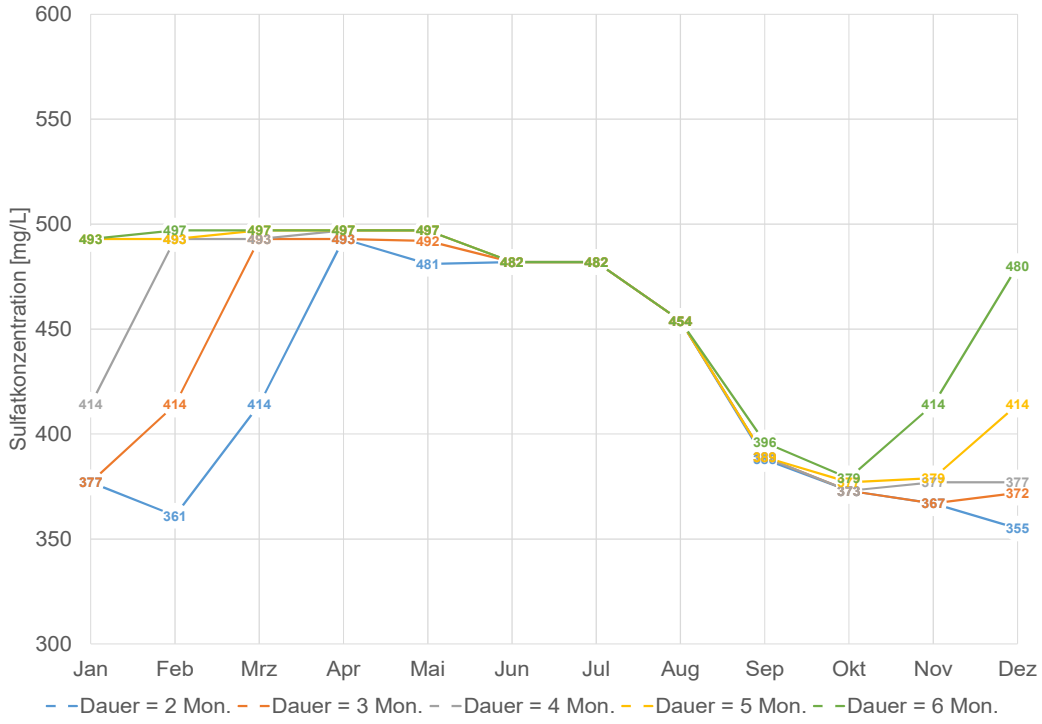


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

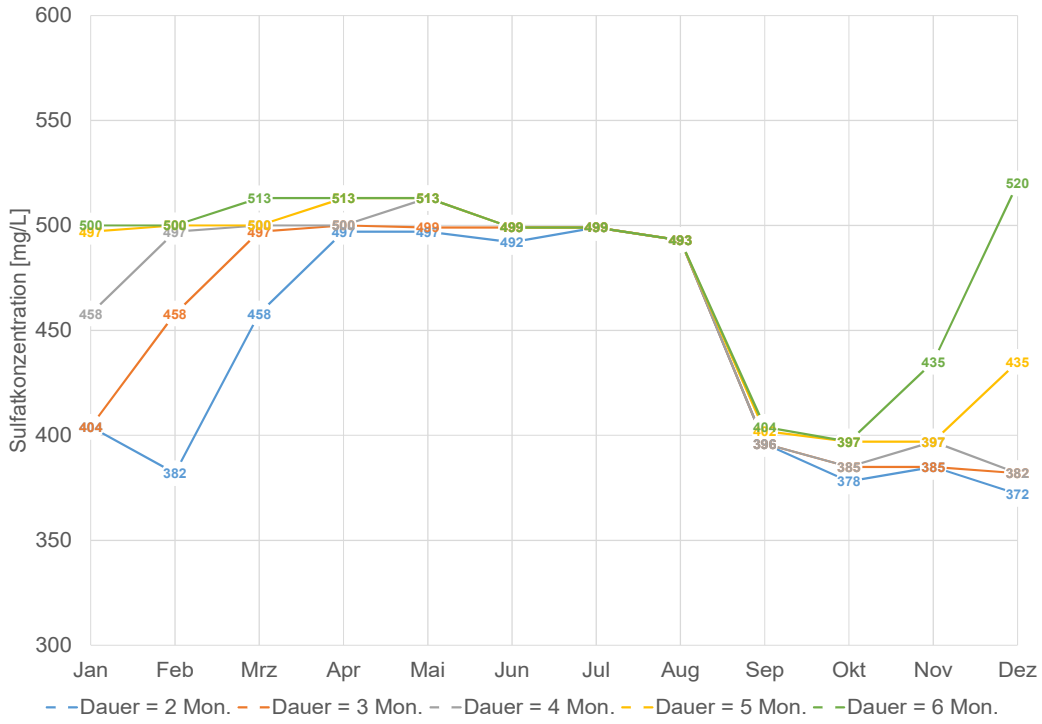


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Leibsch UP

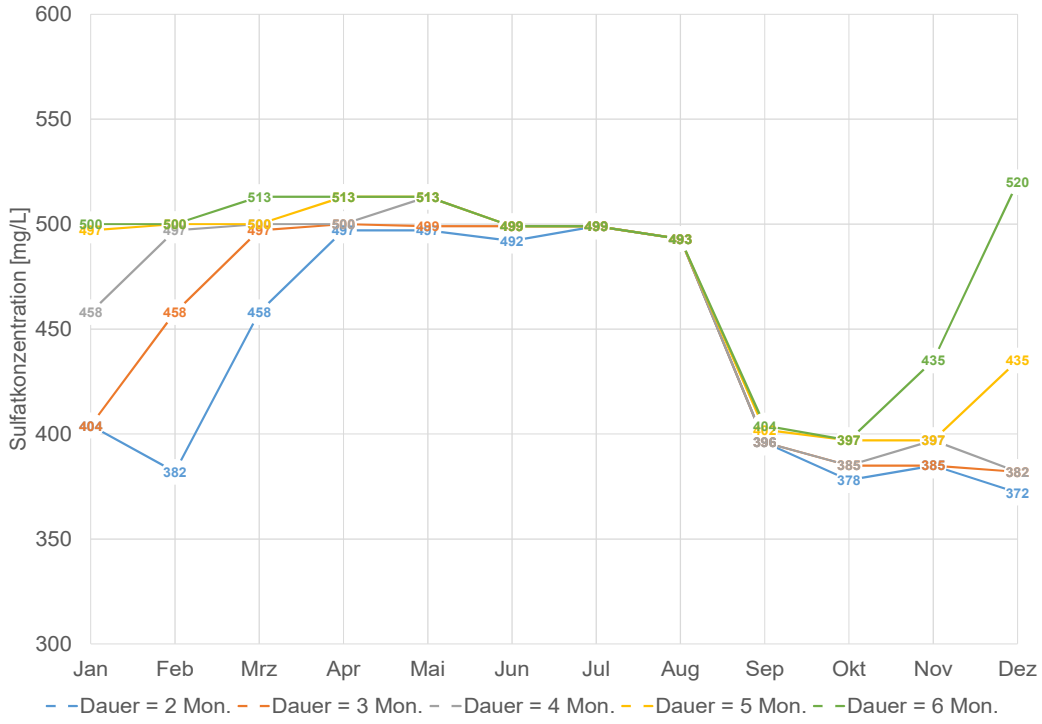


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

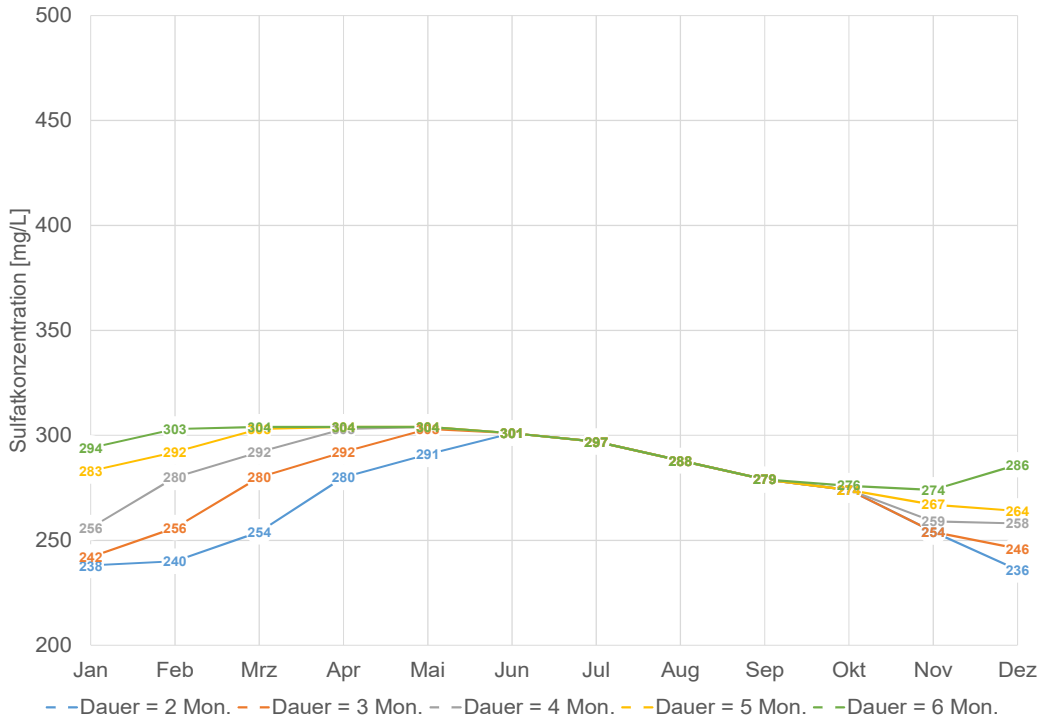


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Leibsch UP

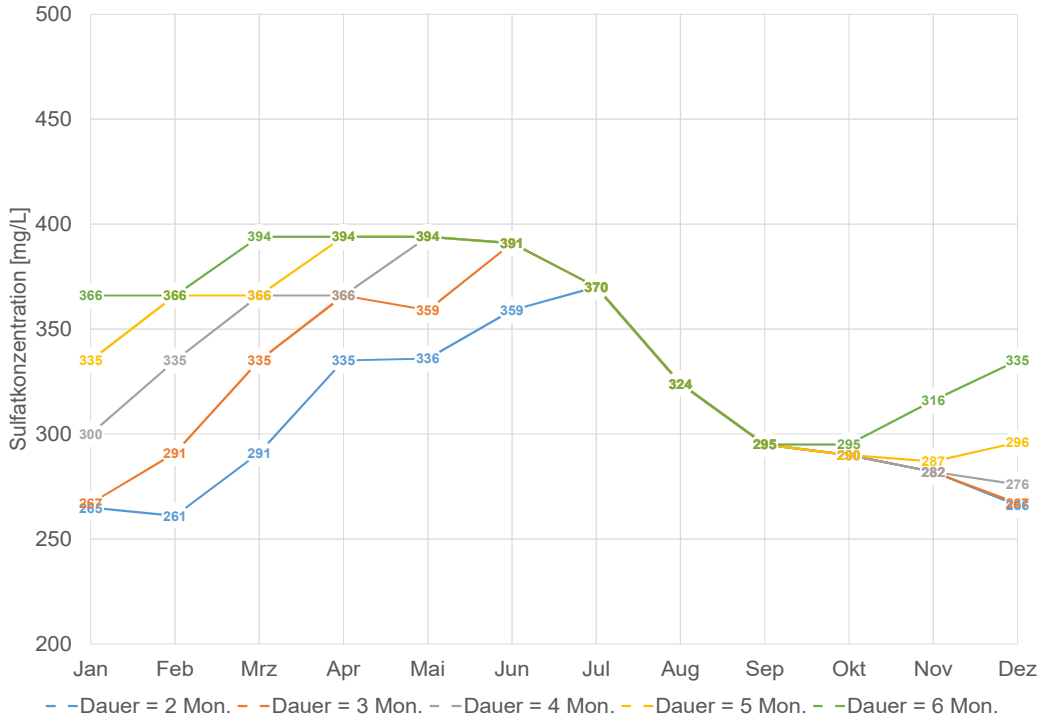


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

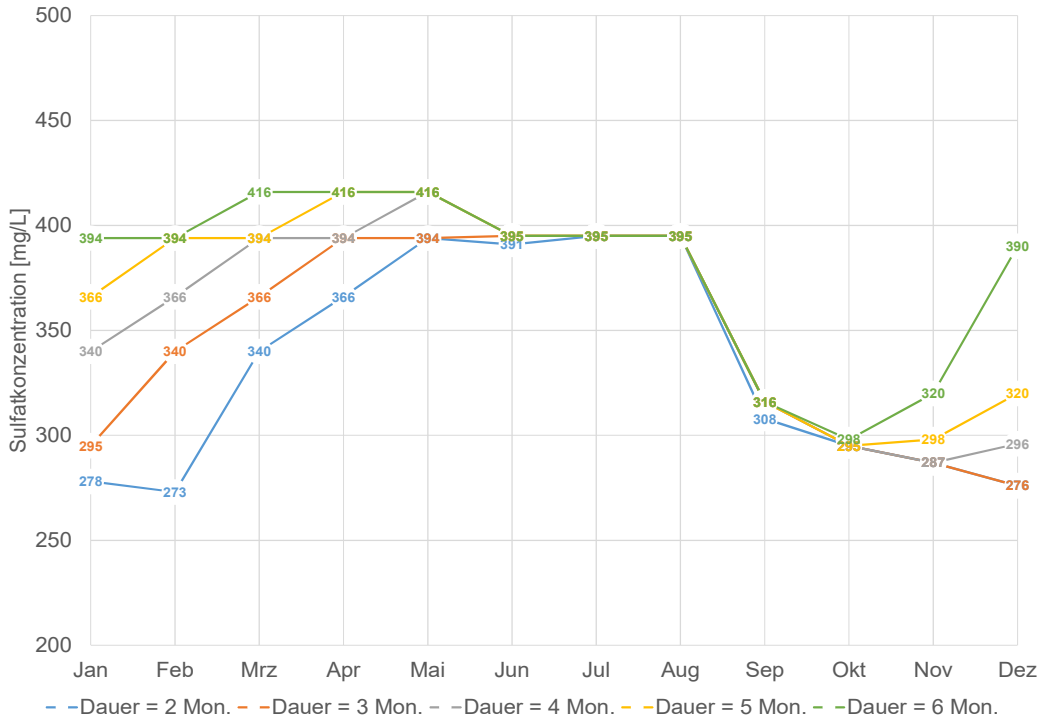


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Briesen

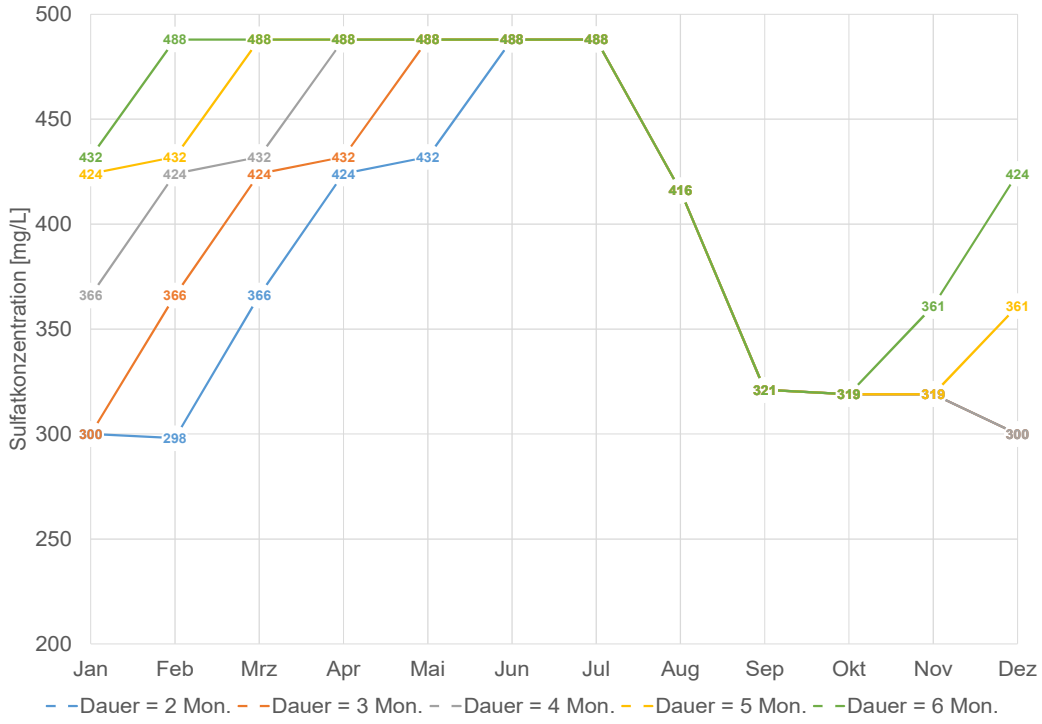


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

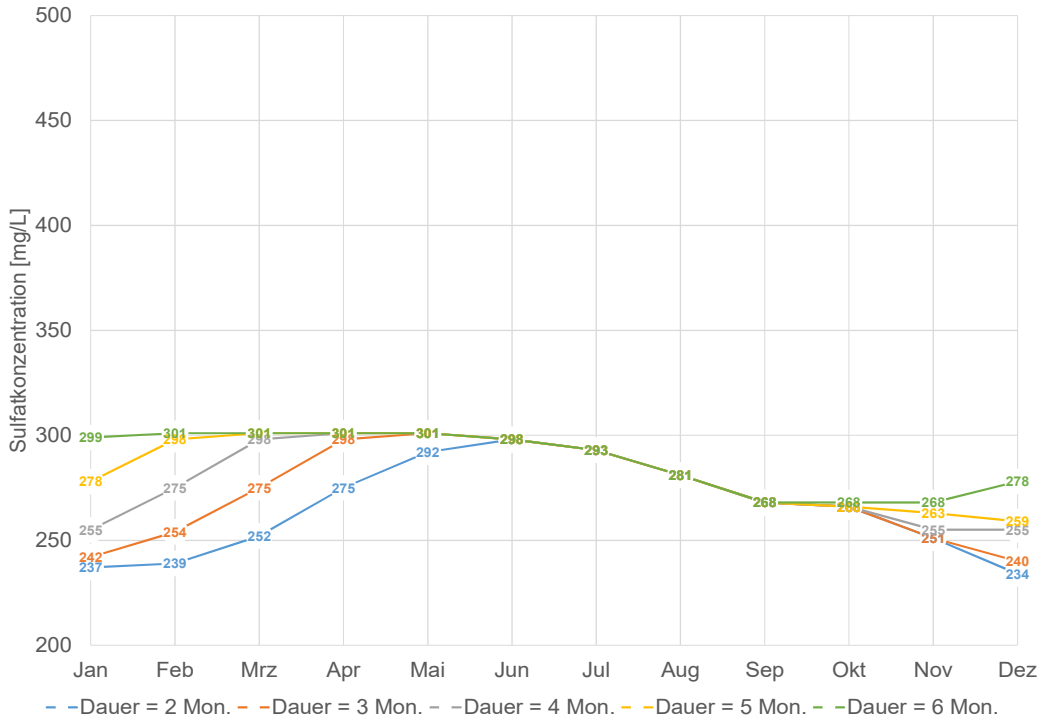


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Briesen

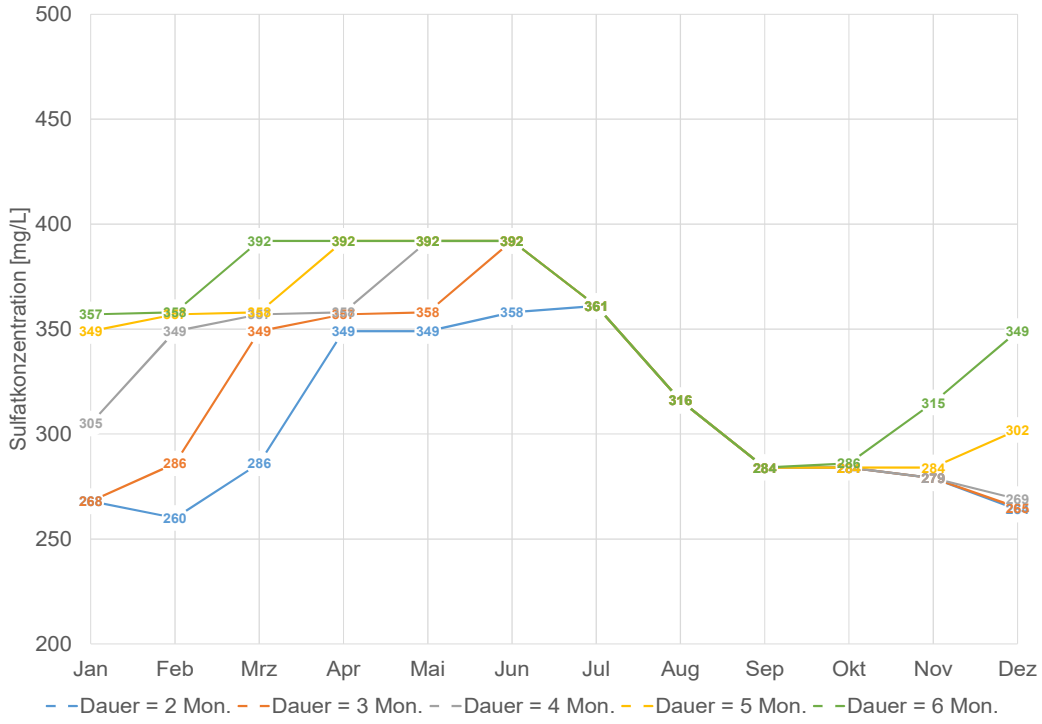


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

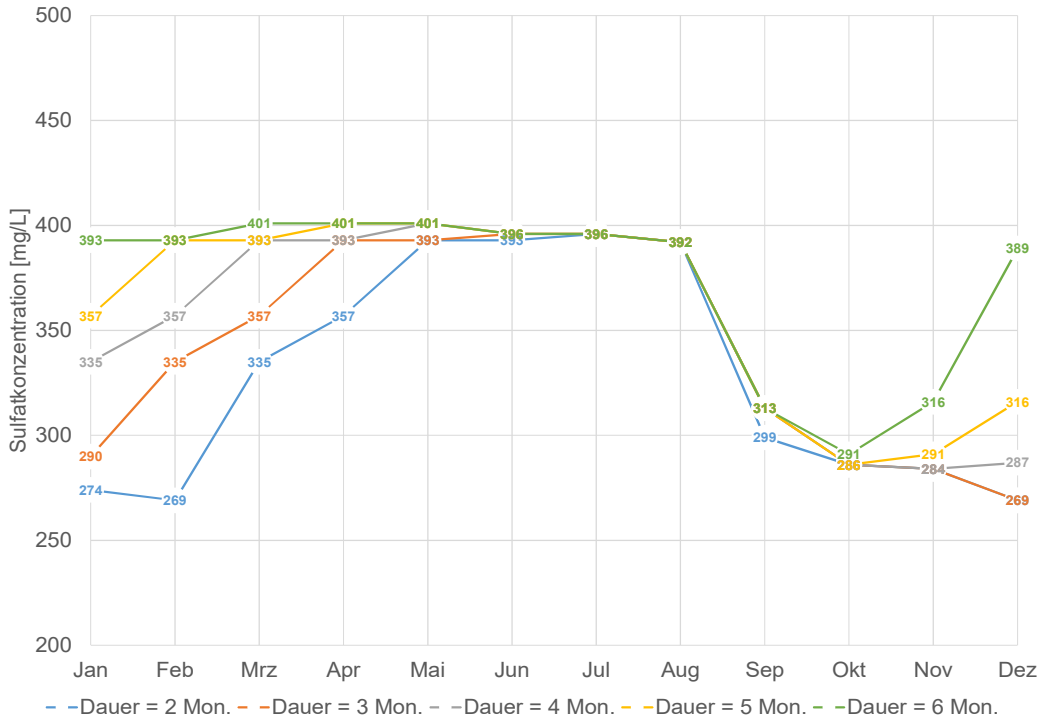


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Große Tränke OP

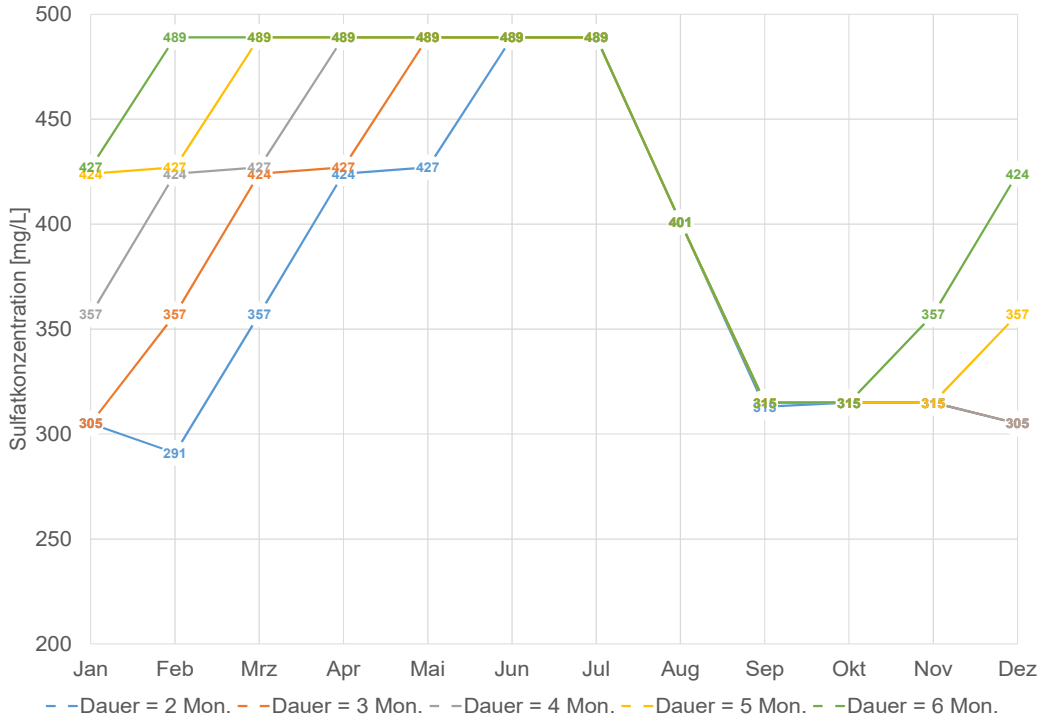


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

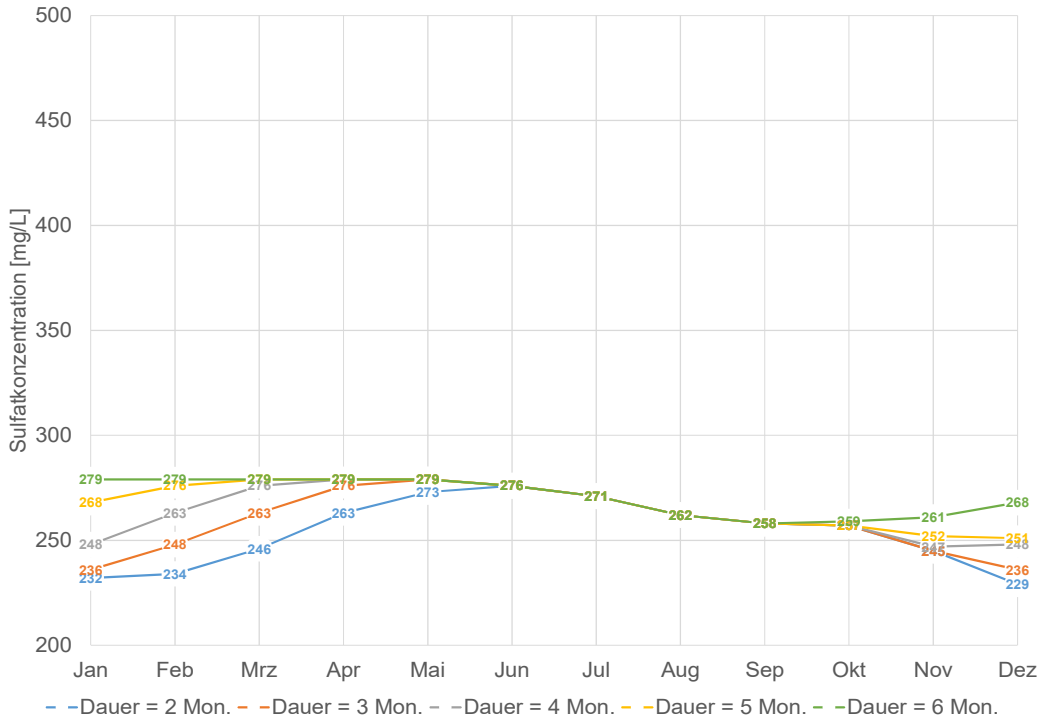


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Große Tränke OP

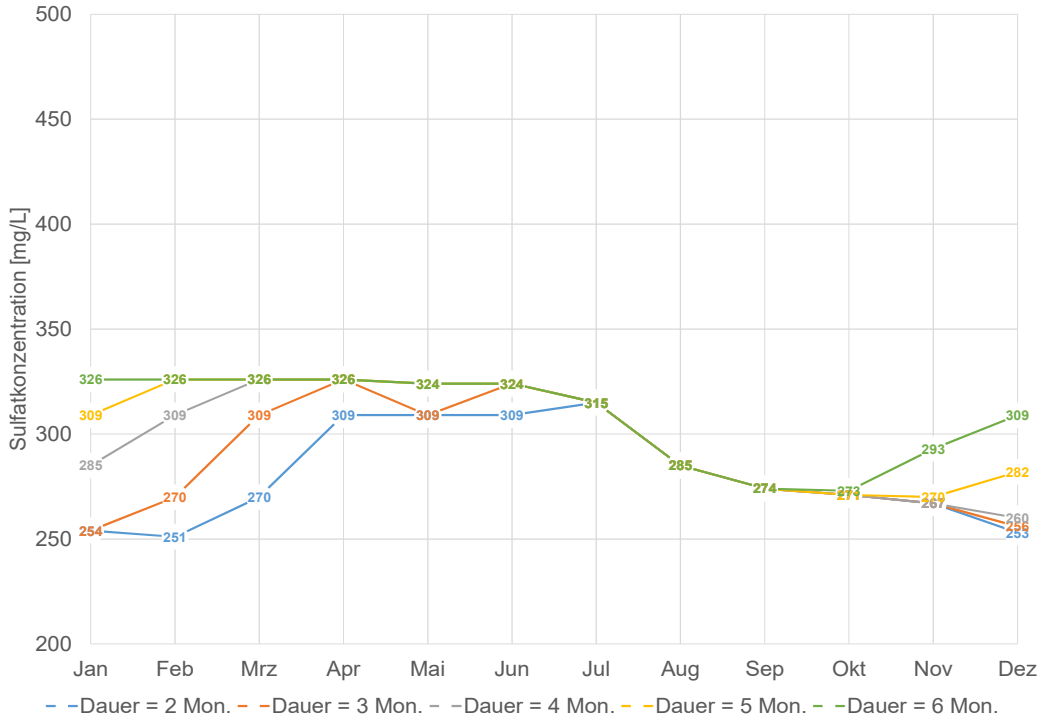


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

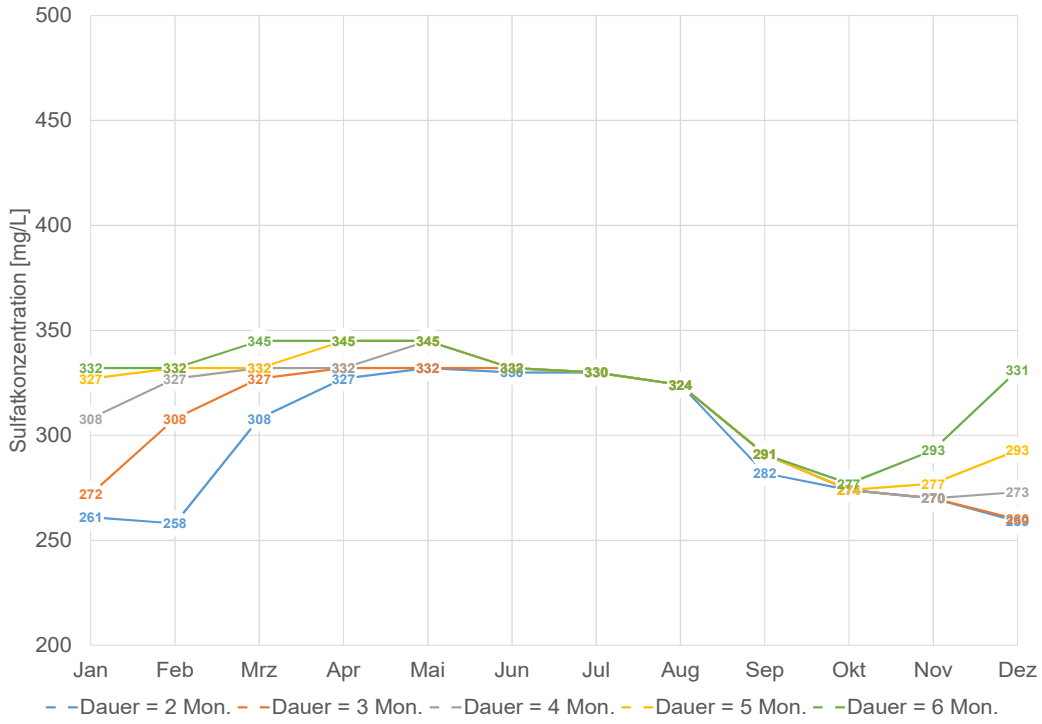


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Rahnsdorf

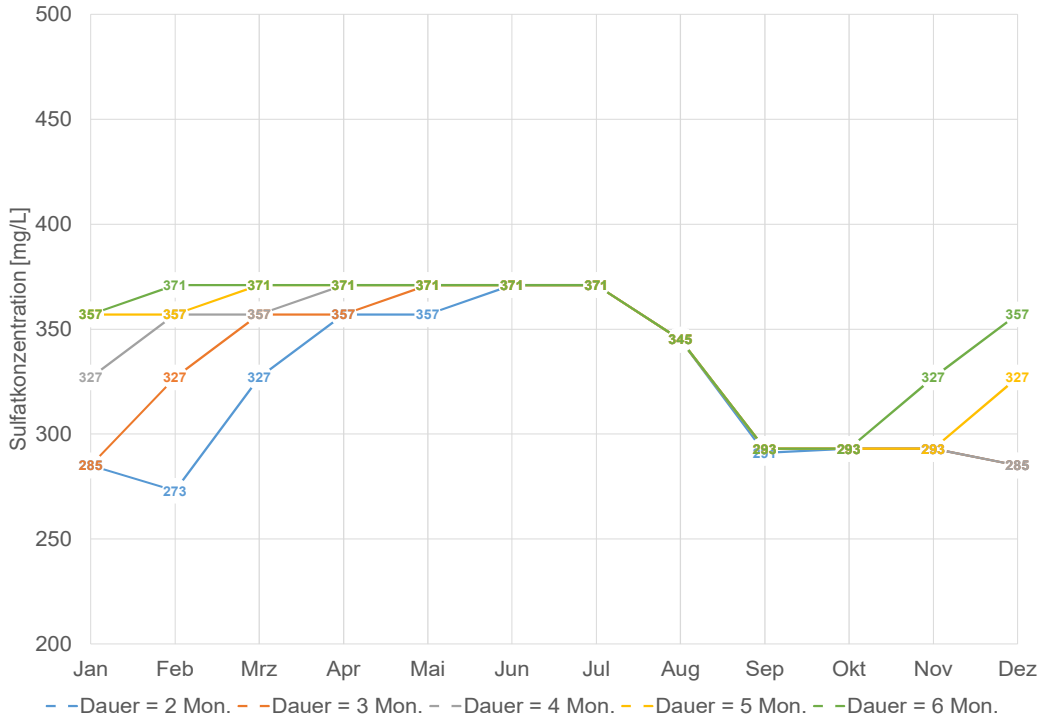


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

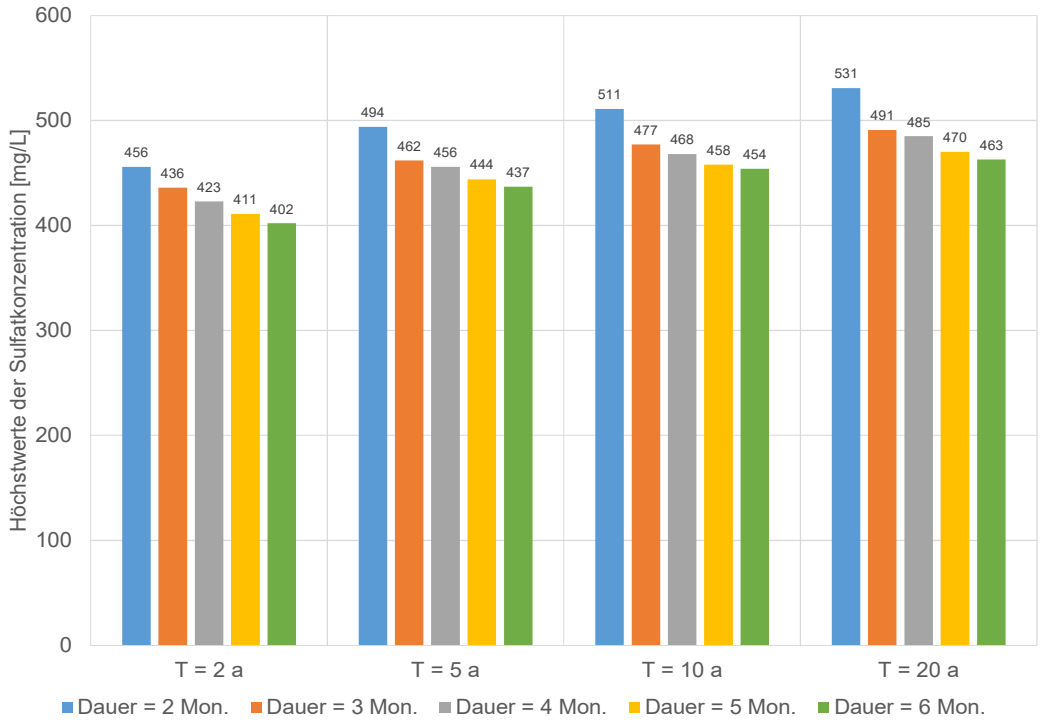


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Rahnsdorf

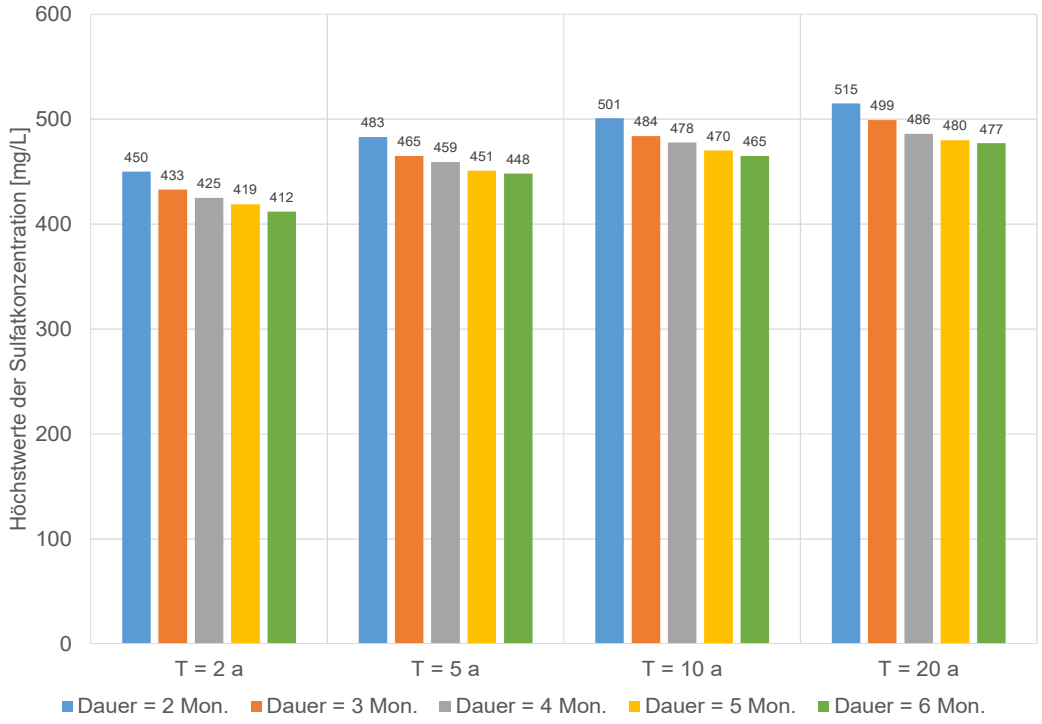


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstelle Rahnsdorf

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

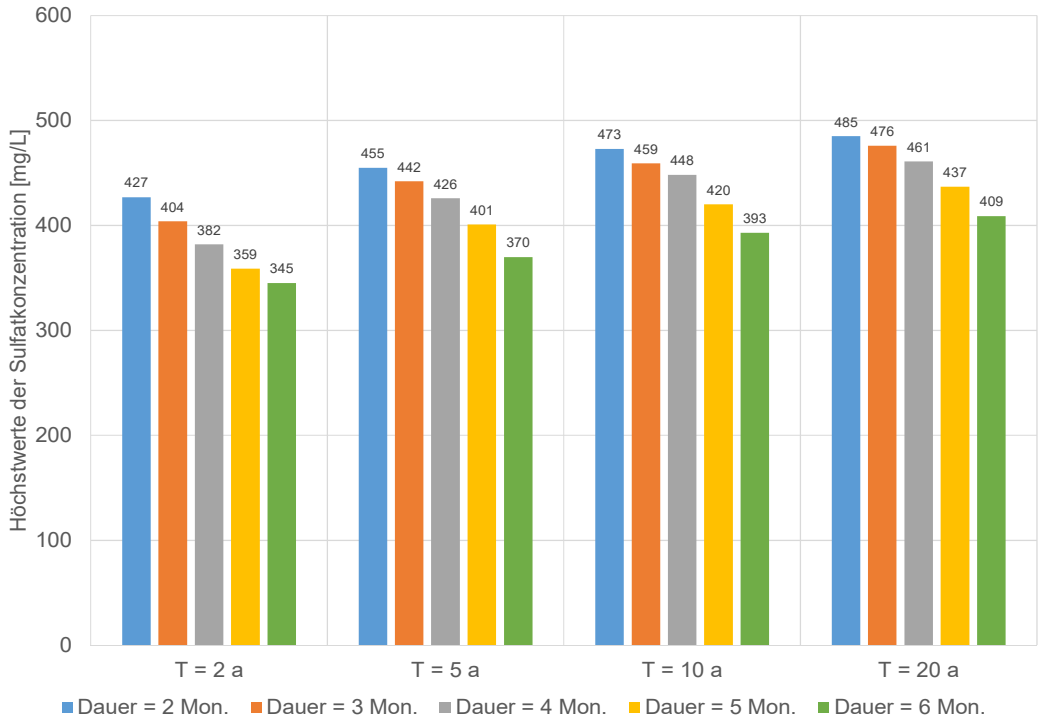


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

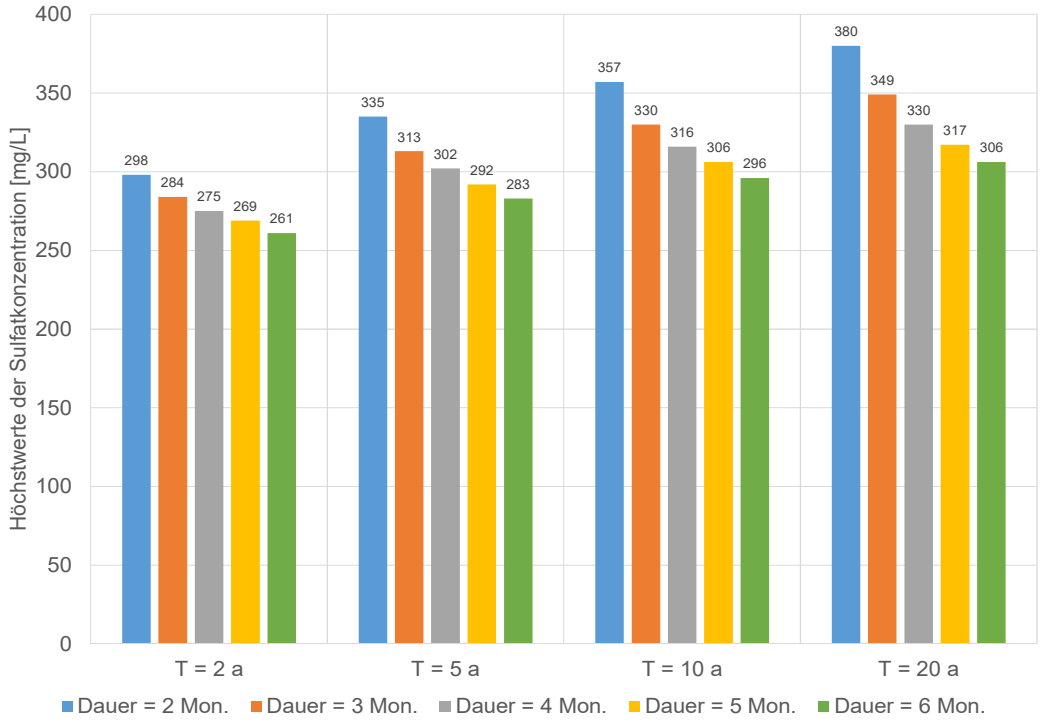


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Bräsinchen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)

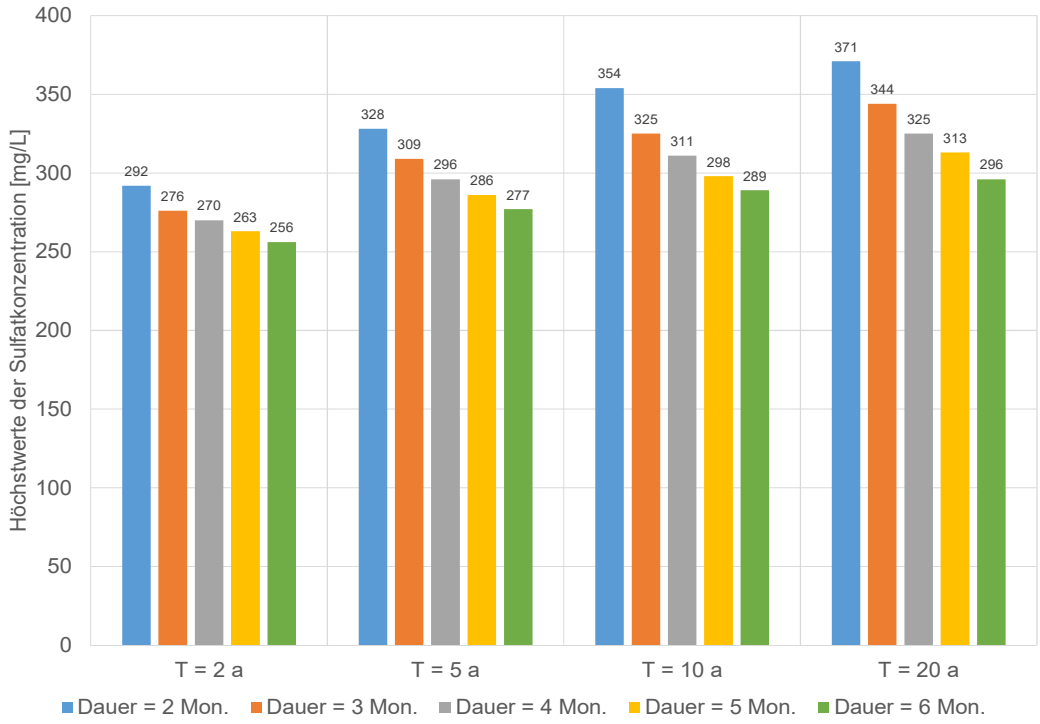


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Leibsch UP

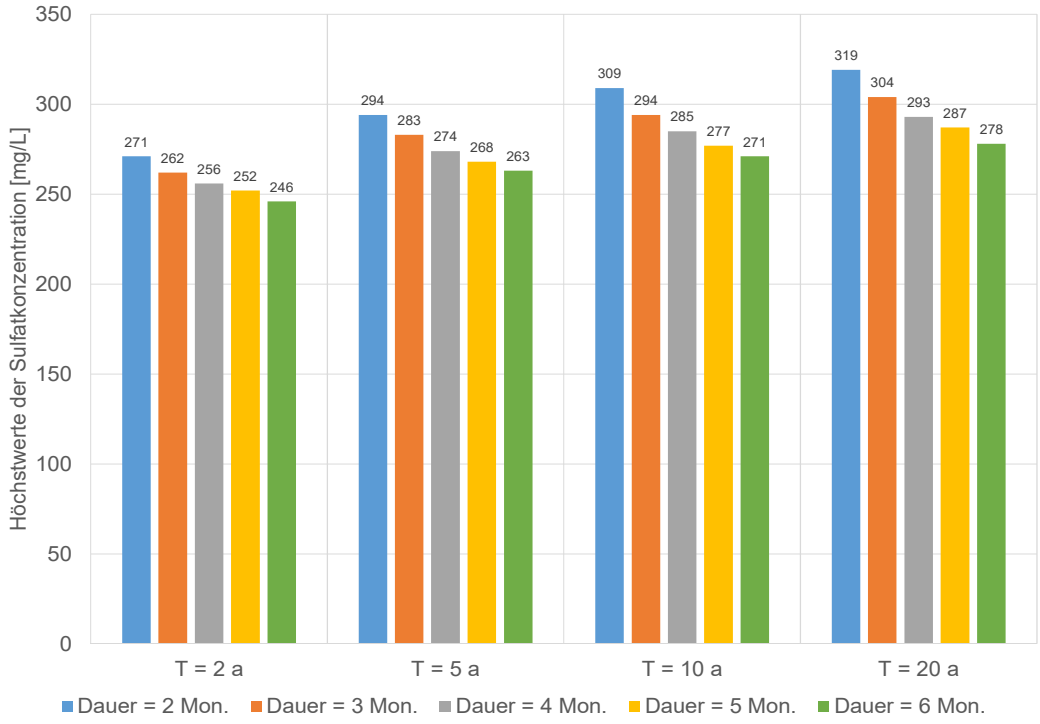


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Briesen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 2)



Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Große Tränke OP



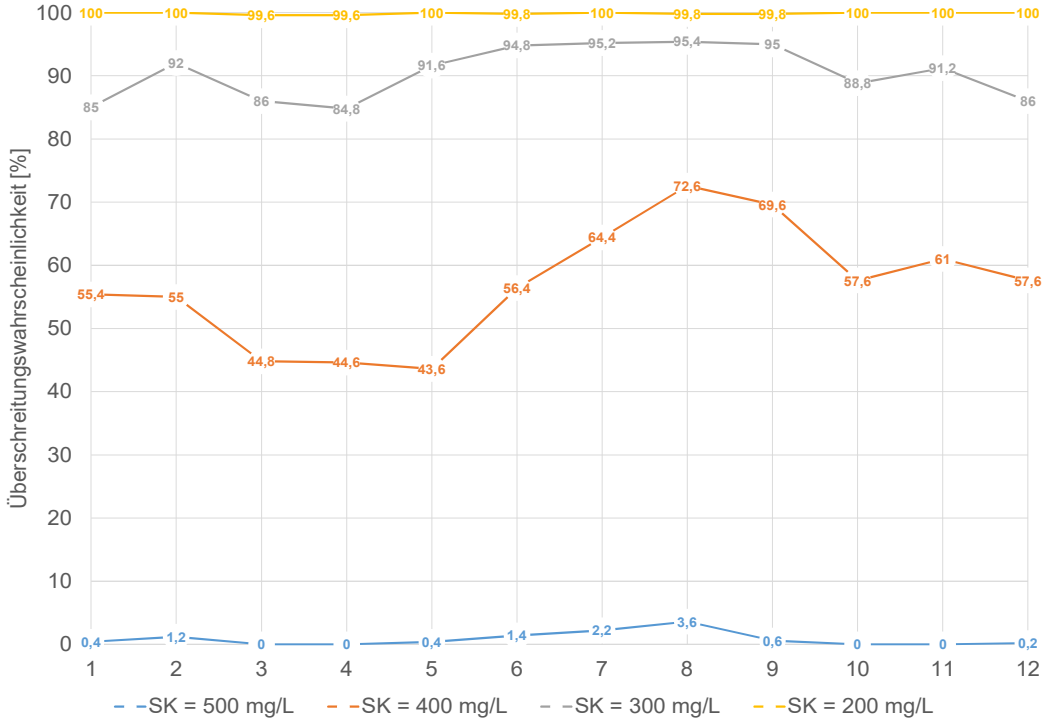
Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Rahnsdorf

ANHANG 3.2

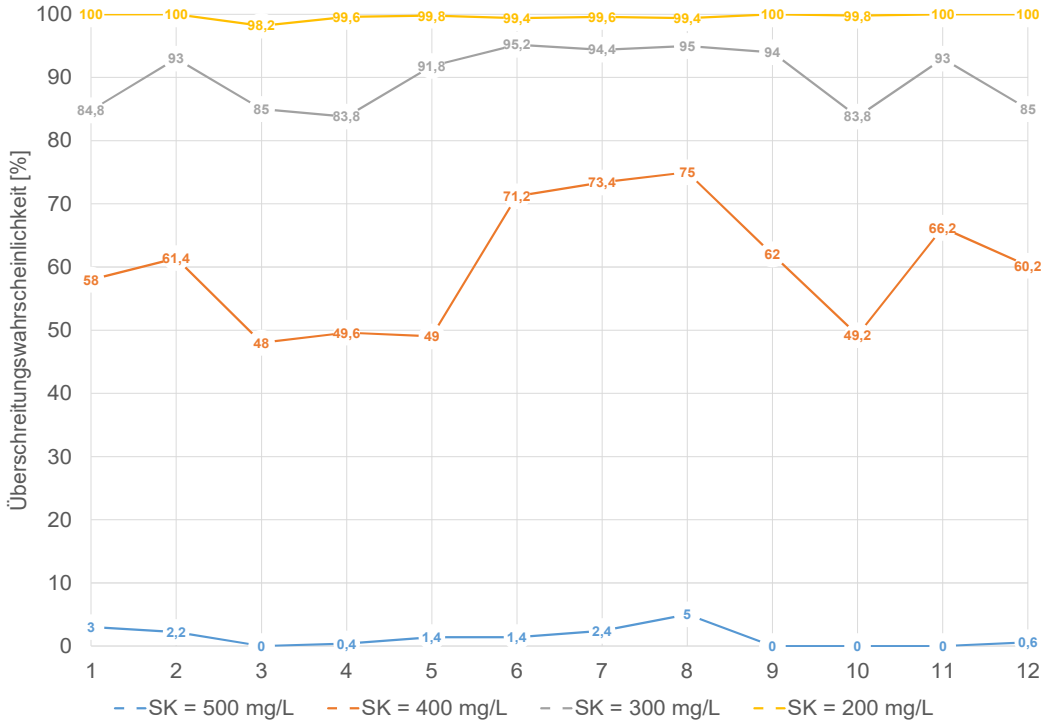
Auswertung Szenario 3

© DHI-WASY – 14803857_Sulfatprognosemodell/

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

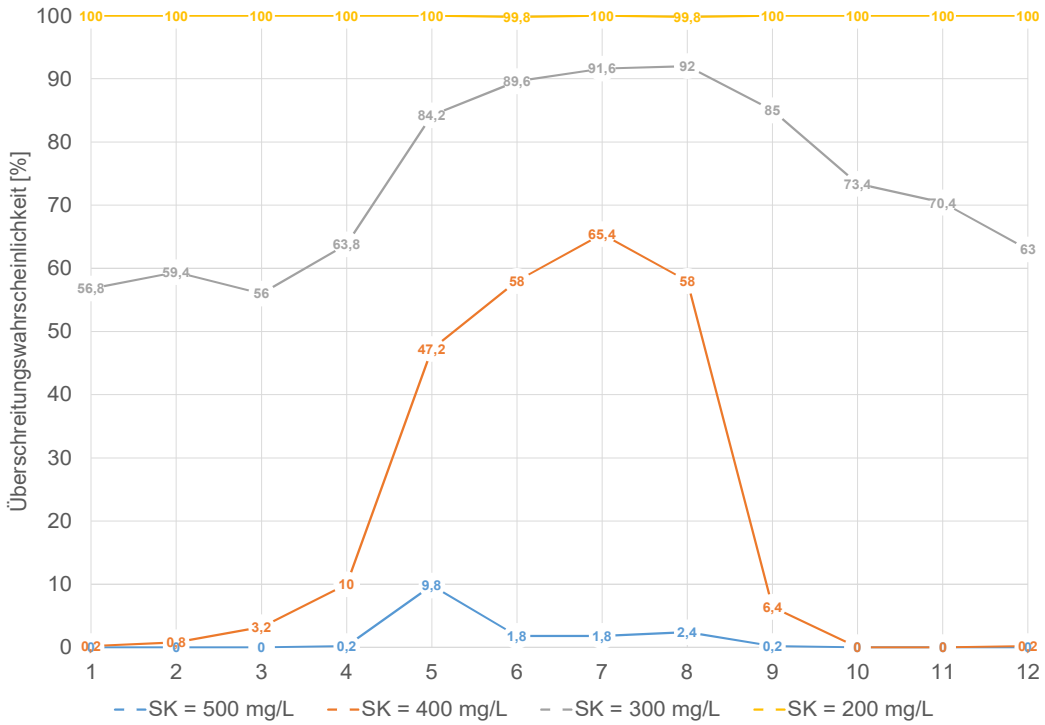


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

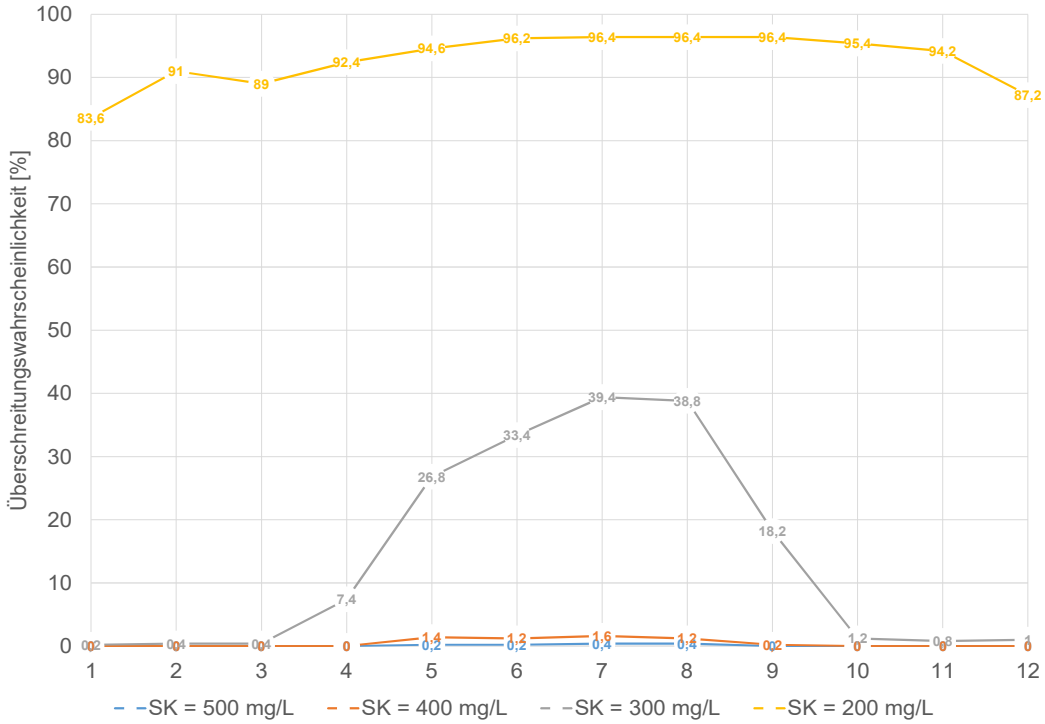


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Bräsinchen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

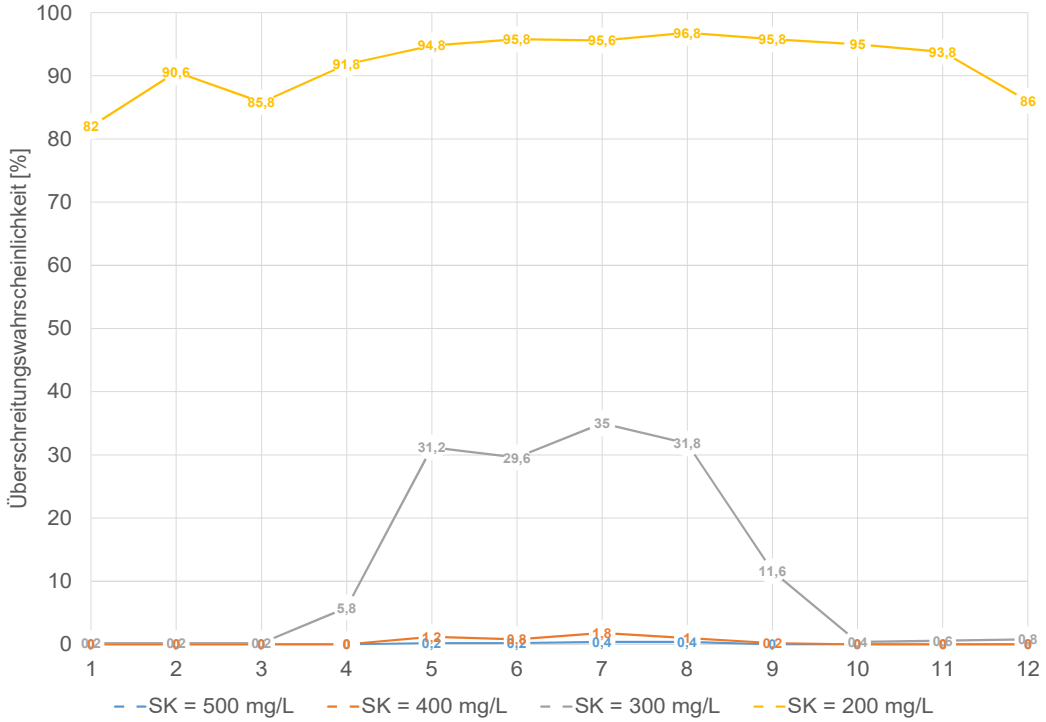


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Leibsch UP

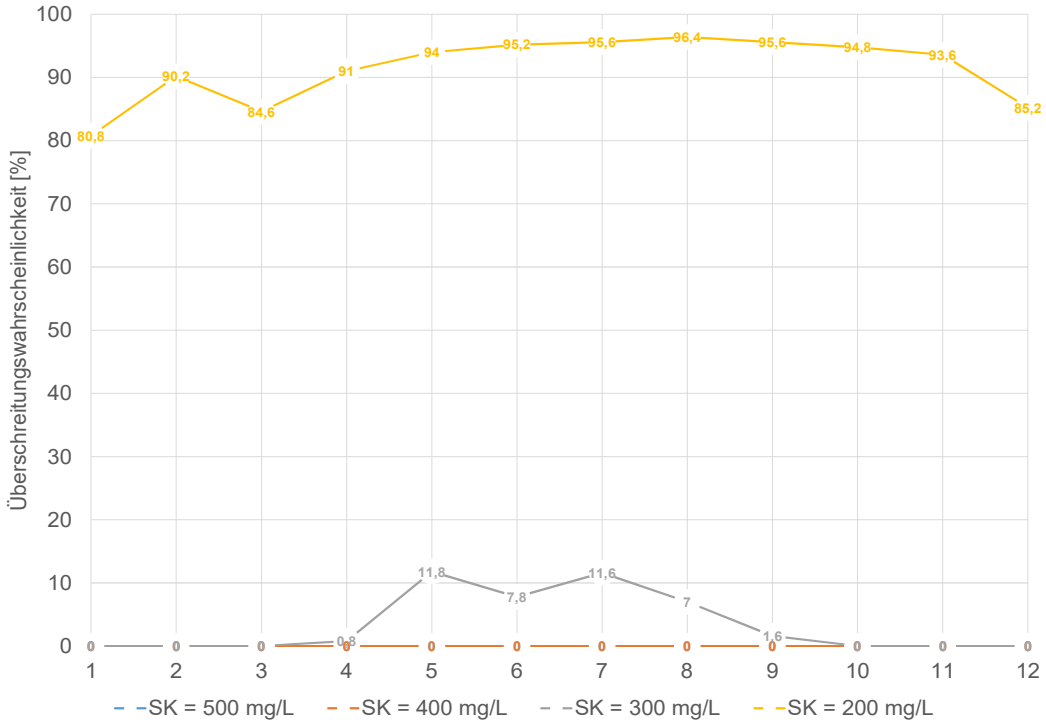


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Briesen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Große Tränke OP



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Rahnsdorf

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	1,4	1,6	0	0,2	0,4	0,6	0,4	2	0,6	0	0,4	1,6
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	2	0	0	0,2	0	0	0,4	1,4	0	0	0,2	0
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,6	0	0	0,2	0,2	0,2	1	0	0	0	0	0,4
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0	0	0	0,2	0,6	0,8	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Bräsinchen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	0,2	0,2	0	1	0	0,2	0,2	0,2	3,6	0	0	0
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	0,6	0,2	0,4	0	0	0,2	0	2,2	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,4	0	0	0,2	0,2	0,2	1,4	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0,8	0	0	0	0,2	0,6	0,2	0,4	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,8	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0,6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0,2	0,2	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0	0	0,2

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Leibsch UP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 300 mg/L	1	2018-2022	0,6	3	3	1,2	1,2	0,8	1,2	1,2	1	0	2	1
SK = 300 mg/L	2	2018-2022	0,6	0,2	0,8	0,6	2	0,4	1,6	0,8	0	0,2	0,4	0,8
SK = 300 mg/L	3	2018-2022	0,2	0,6	0,2	0,4	0,4	1	1,2	0,6	0,2	0	0,2	0,2
SK = 300 mg/L	4	2018-2022	0,2	0,4	0,2	0	2	1,6	1	0	0,2	0	0	0,4
SK = 300 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,2	0,4	0,4	2,8	0	0,4	0	0	0,2	0	0
SK = 300 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,2	2	1	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0,6	0,6	2,2	0,8	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0,2	0,8	1,4	0,2	0,4	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	9	2018-2022	0,4	0,2	0,2	1,8	0,4	1	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	10	2018-2022	0,2	0,8	0,4	0,2	1,6	0,2	0,2	0	0	0	0,2	0
SK = 300 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,4	1,4	0,6	0	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	12	2018-2022	0,4	1,2	5,2	3,8	8,4	1,8	0,6	0	0	0	0,6	0,8

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Briesen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 280 mg/L	1	2018-2022	1	0,4	0,4	2,2	6,6	4,8	4,8	5	3,4	0,2	1	0,6
SK = 280 mg/L	2	2018-2022	0	0	0,2	0,8	5	1,2	6,6	3,6	0,4	0	0	0,2
SK = 280 mg/L	3	2018-2022	0	0	0	1,6	2	4	3,6	1	0,2	0	0	0
SK = 280 mg/L	4	2018-2022	0	0	0,8	0,6	3,6	5,2	0,4	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	5	2018-2022	0	0	0	1,2	5,4	2,2	0,4	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,6	1,6	2,6	0,2	0,4	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	7	2018-2022	0	0	0,4	1,4	1,8	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0	1,2	0,8	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	9	2018-2022	0	0	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	10	2018-2022	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	11	2018-2022	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

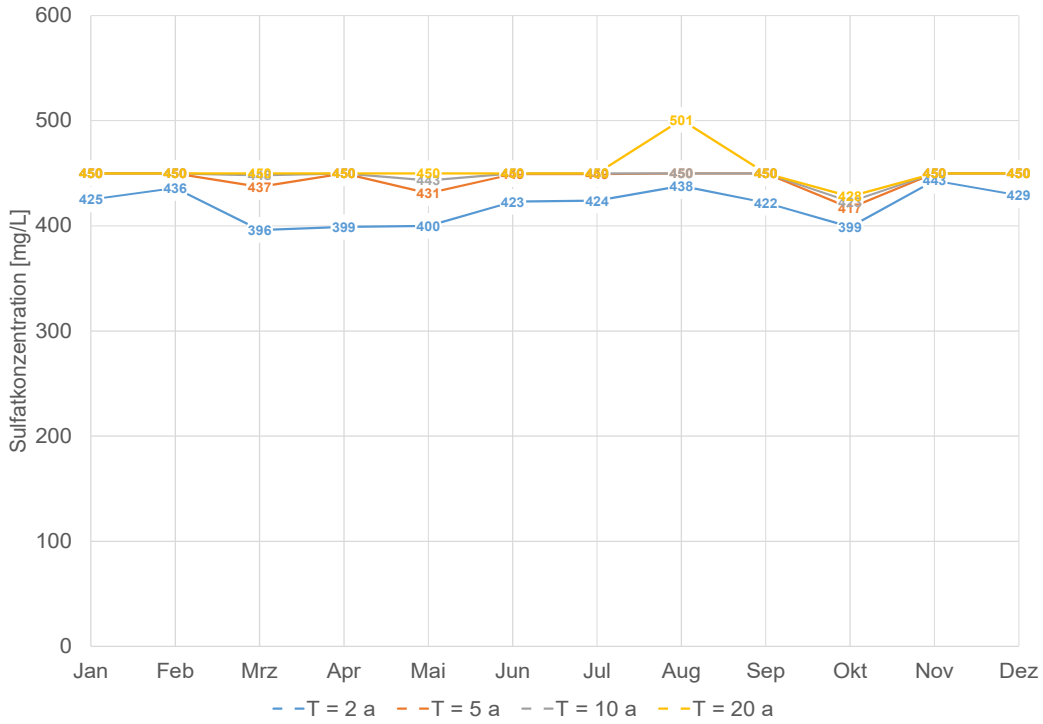
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Große Tränke OP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,4	4	1,8	1,6	2,8	2	1,4	0,8	0,6	1,2	2	1,2
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,4	1	0,6	1,2	1	0,4	0,8	0,8	0,2	1,4	0,8	0,8
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,2	0,8	0,2	1	0,6	0,4	0,8	0,2	0,6	0,4	0,2	0,2
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,4	0,8	0,4	1,2	1	1	0,4	0,4	0	0,2	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,2	1,6	0,4	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,2	0,8	0,8	0,4	0,6	0,4	0	0	0,2	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0,4	0,8	1,4	2,6	1	0,6	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,4	0,6	2,6	1,4	0	0,4	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0,2	0,6	1	3,6	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	0,6	0,8	1,4	1,8	0,2	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,8	0,6	0,4	0,4	0	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,6	2	5	5	5	2,2	0,6	0,2	0,4	0,2	0,4	0,4

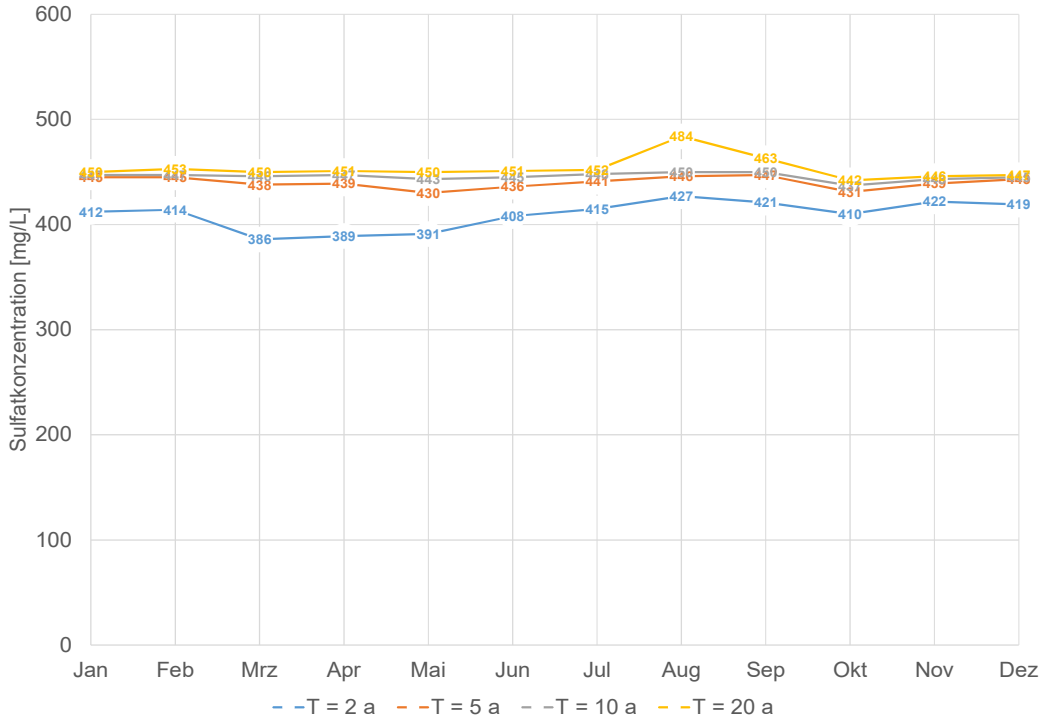
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Rahnsdorf

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,6	3,8	1,6	2,4	3,8	1,8	1,6	1,2	0,6	1,4	2	0,2
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,6	0,6	1,2	1,8	1,8	0,4	1,4	0,6	0,4	1,6	1	0,8
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,2	0,6	0,6	1	0,8	0,4	1,4	0,2	1	0,4	0,4	0,2
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0	1,4	0,4	1	1,2	0,8	0,4	1	0	0	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0,4	0,4	0,8	0,2	1,8	0,4	0,2	0,2	0	0,2
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0,8	0,2	0,4	0,6	1	0,6	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0,4	0,4	2,2	2,4	1	0,2	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0,8	2,8	3	0,2	0,8	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0,2	0,4	1,4	3	1,8	0,4	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0,2	0,8	1,4	1,4	1,4	0,2	0	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,6	0,8	0,8	0,6	0	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,2	2,2	4,8	4,4	3,2	2	1,6	0,2	0,4	0,4	0	0,2

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

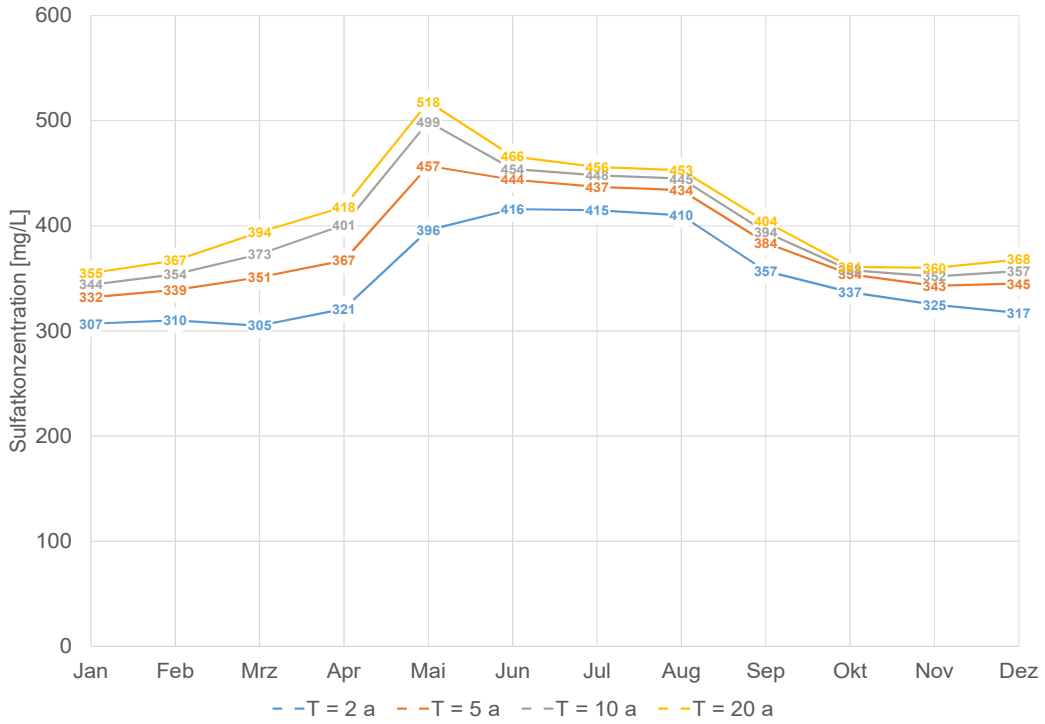


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

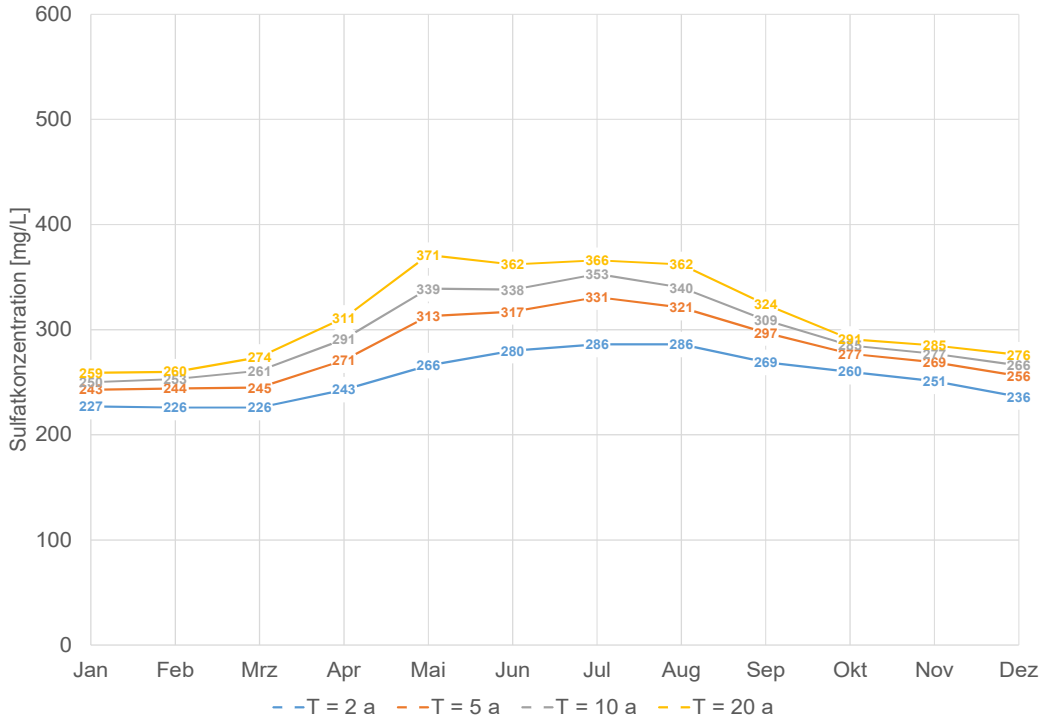


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

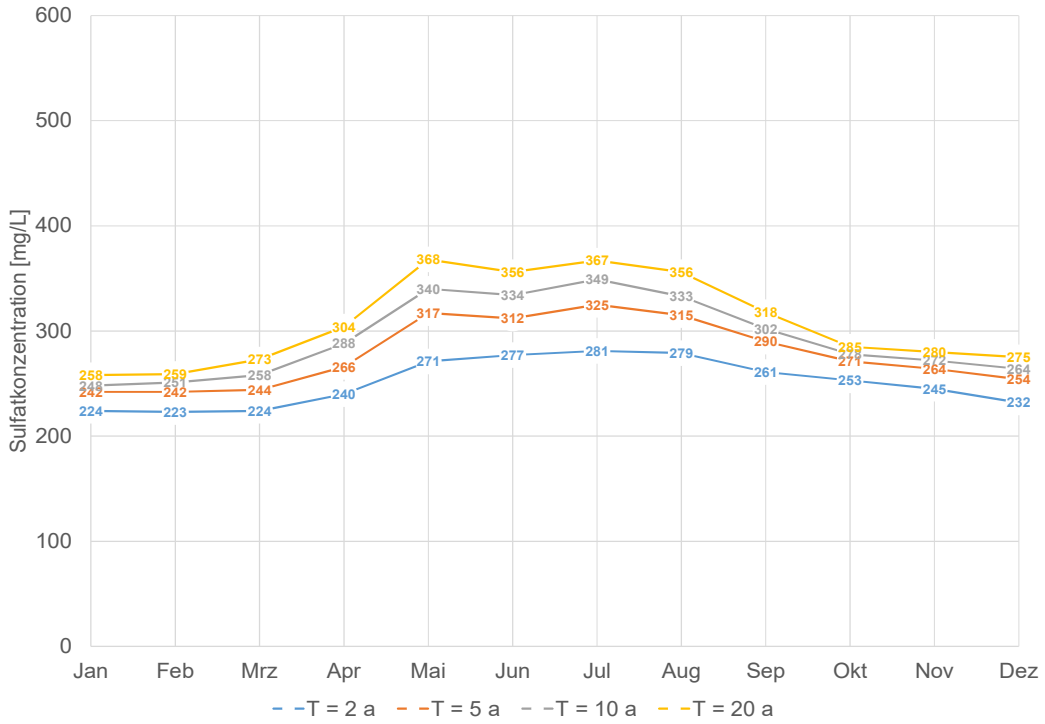


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Leibsch UP

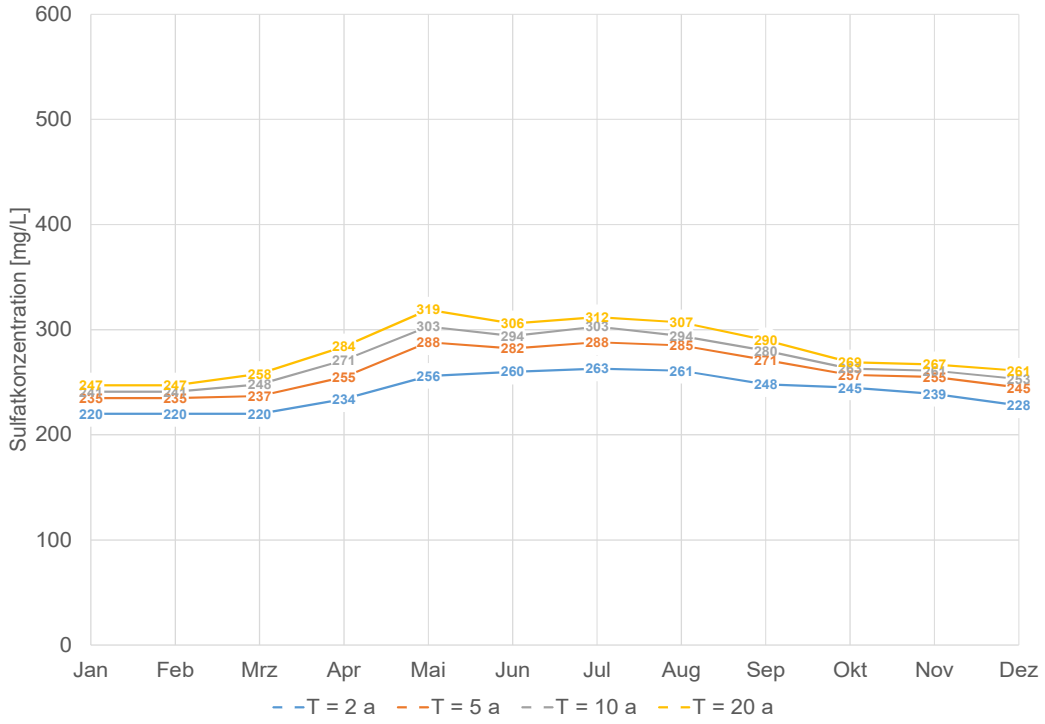


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

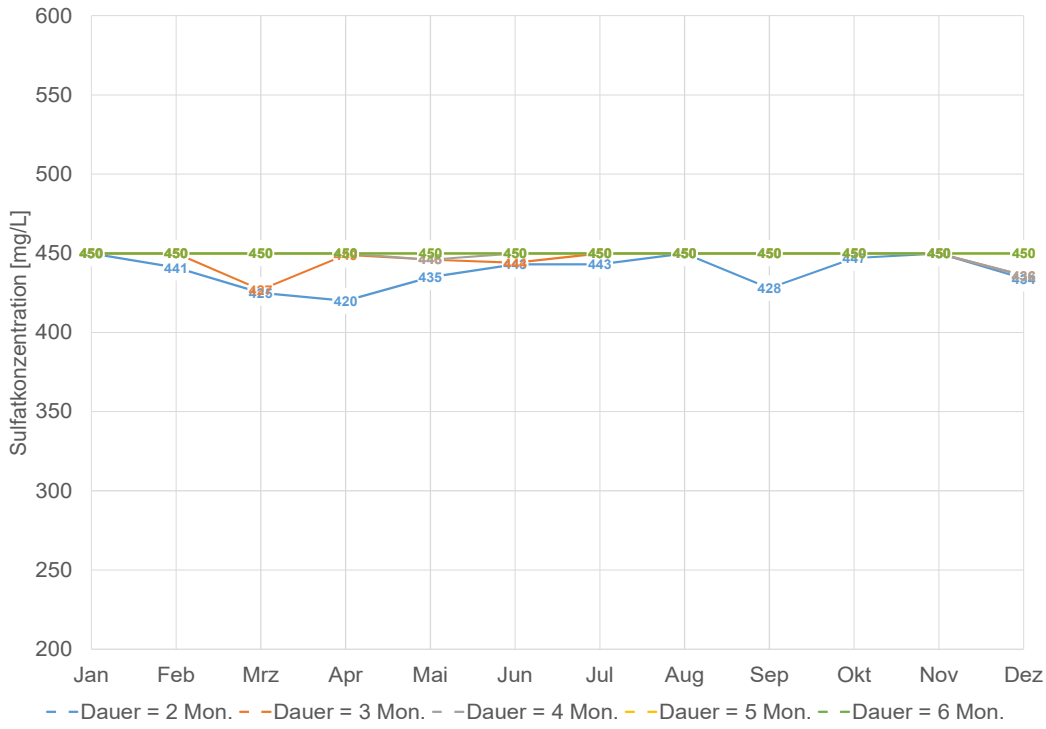


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Große Tränke OP

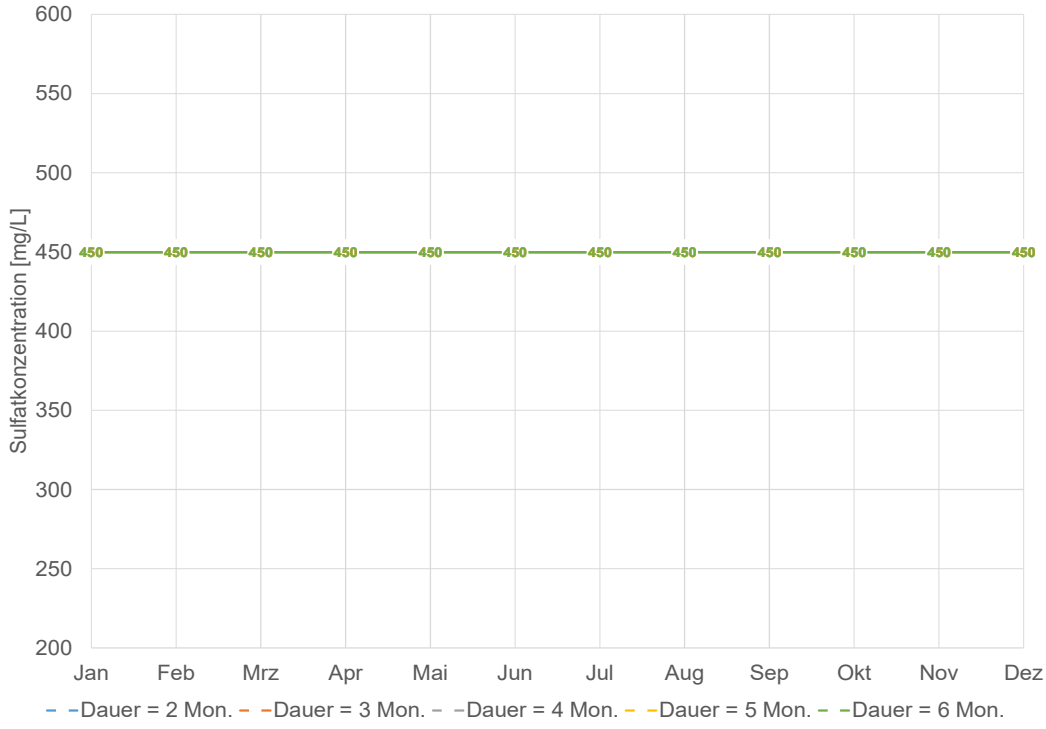


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

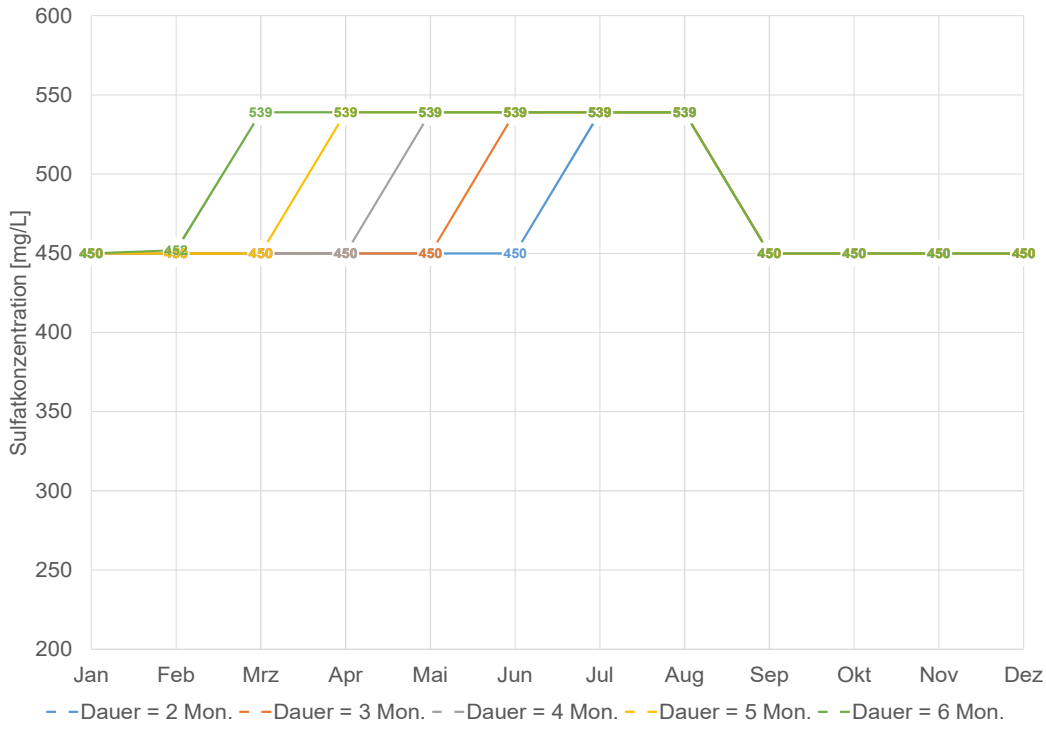


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

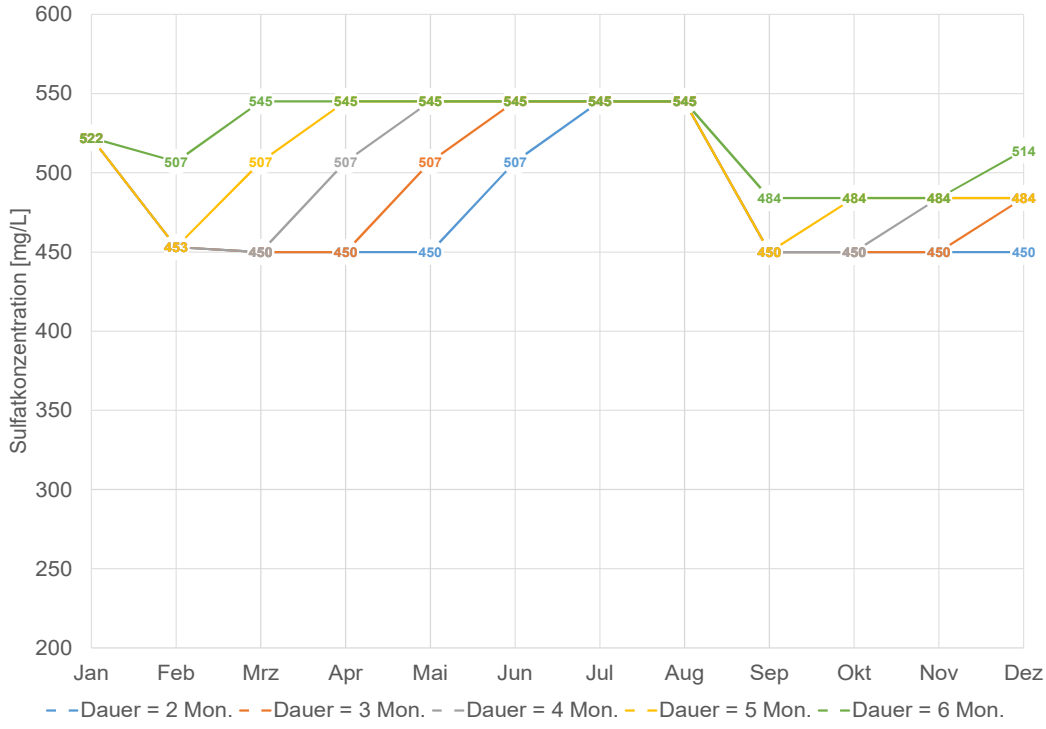


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

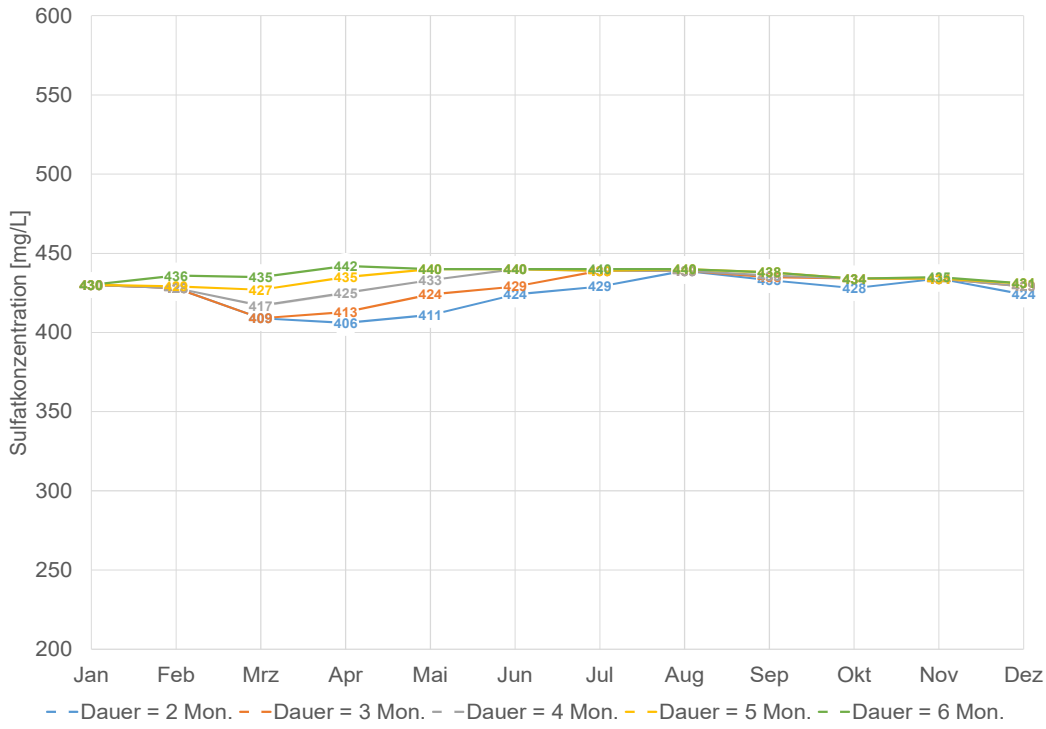


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

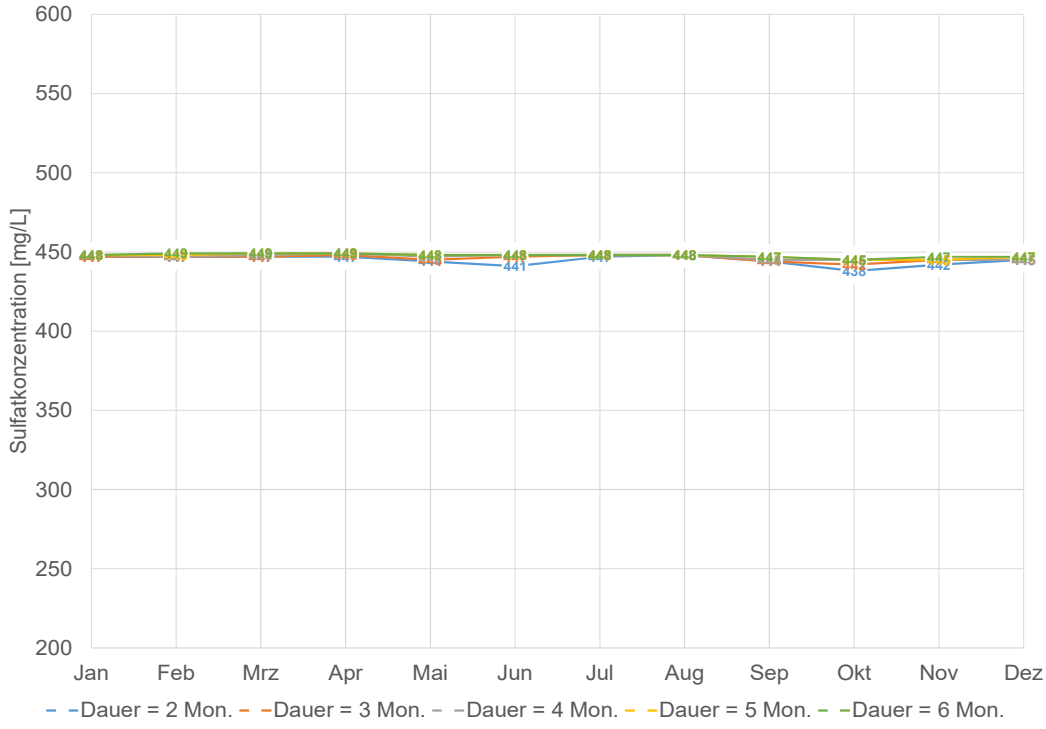


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

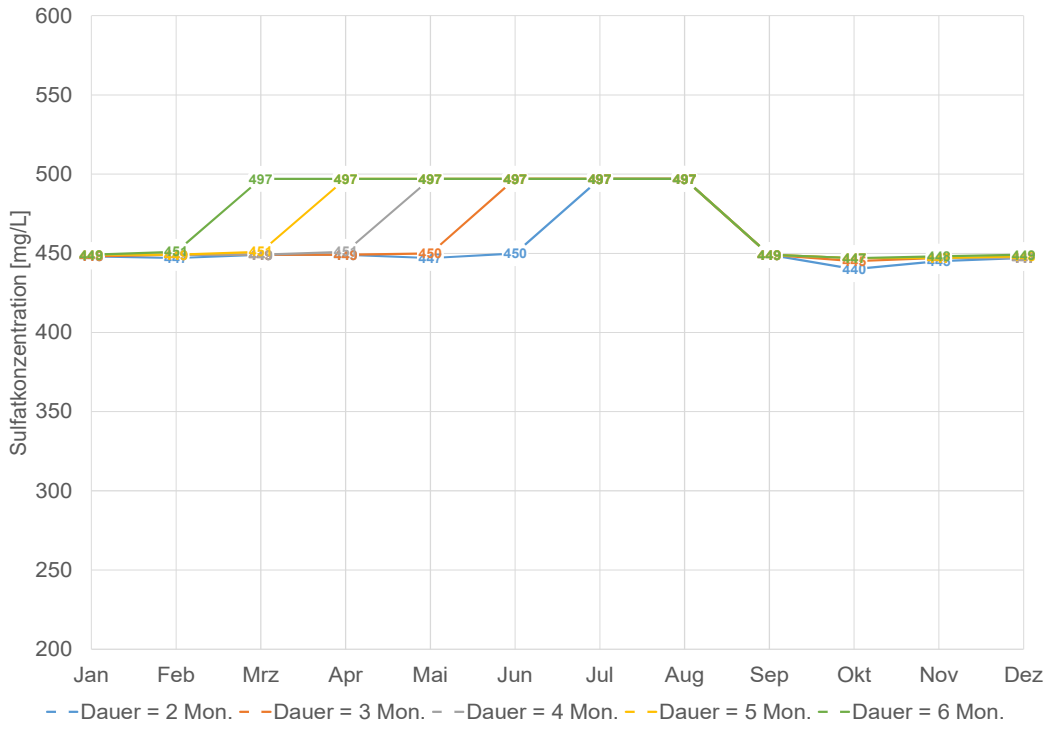


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Bräsinchen

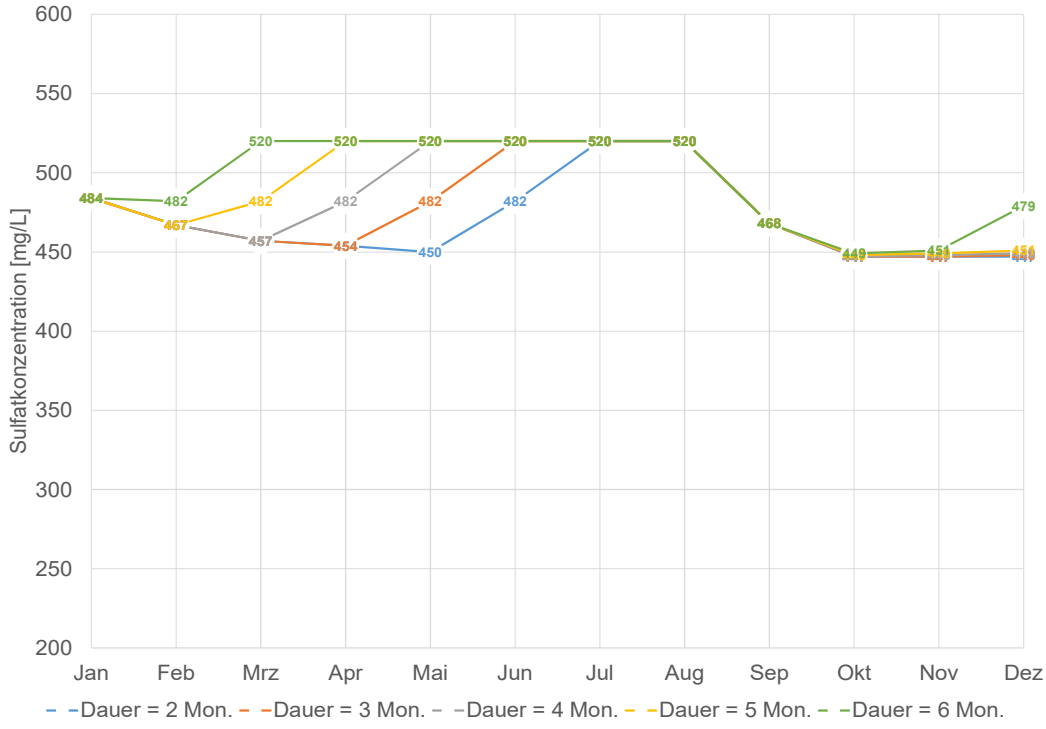


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

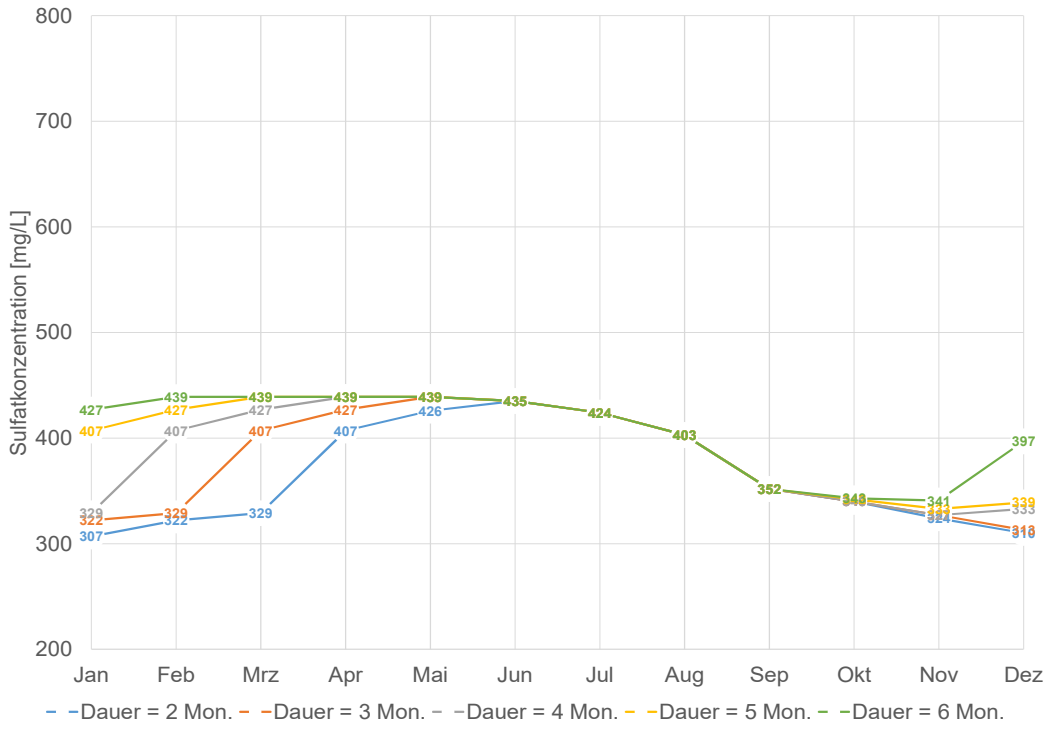


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Bräsinchen

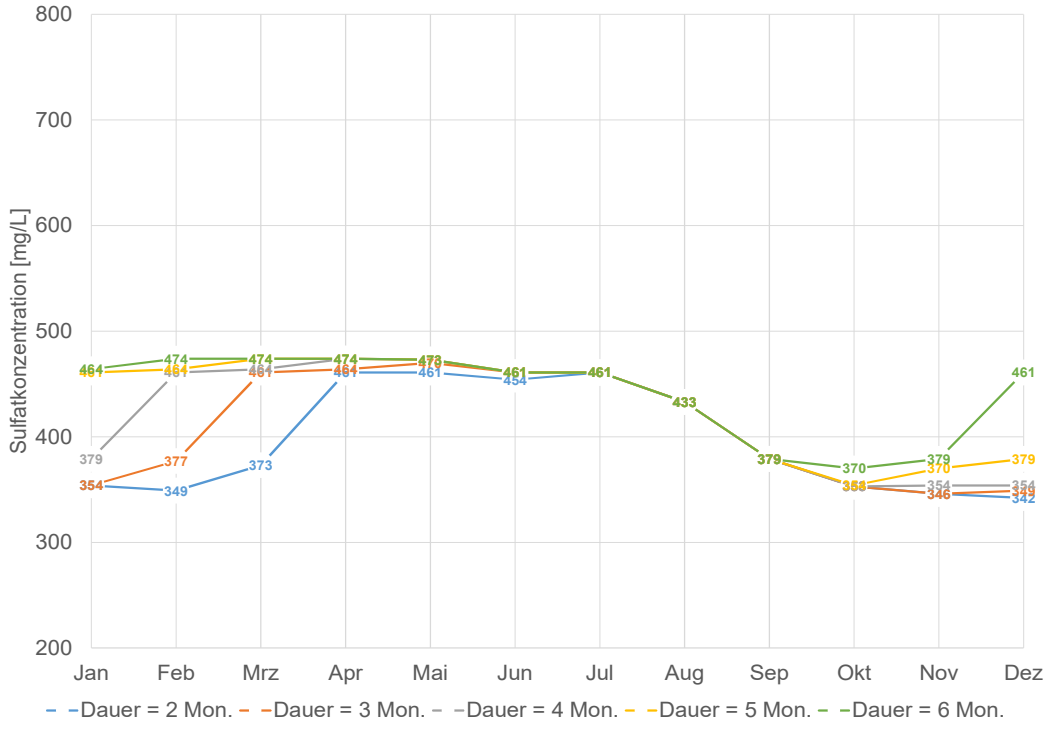


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

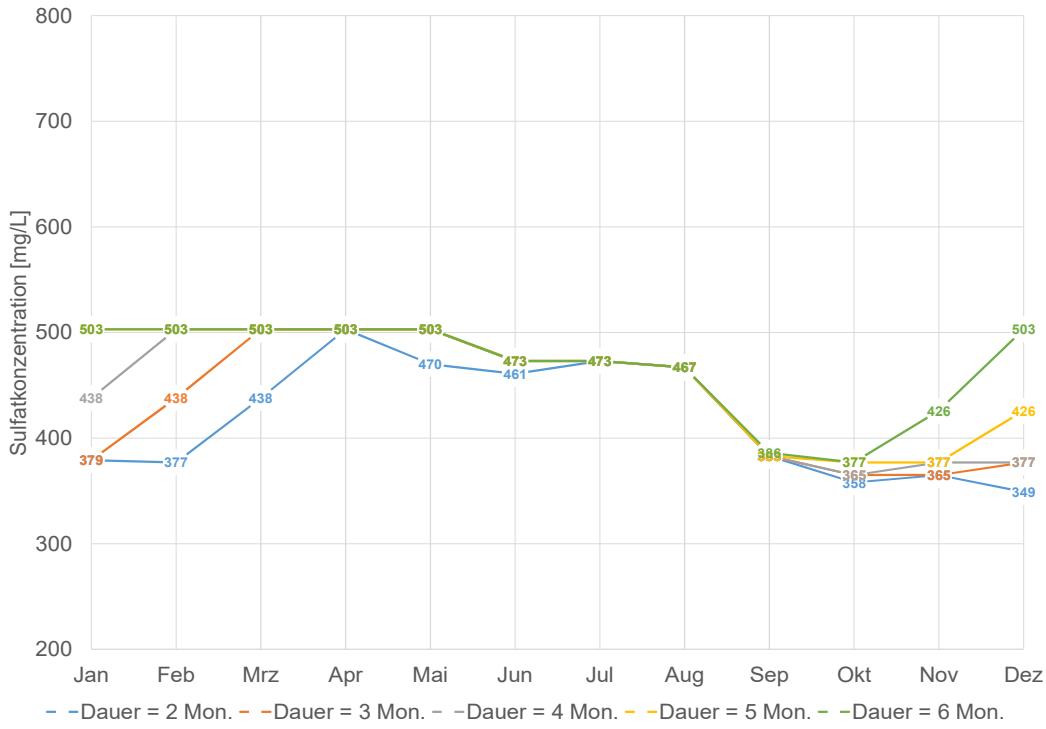


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Leibsch UP

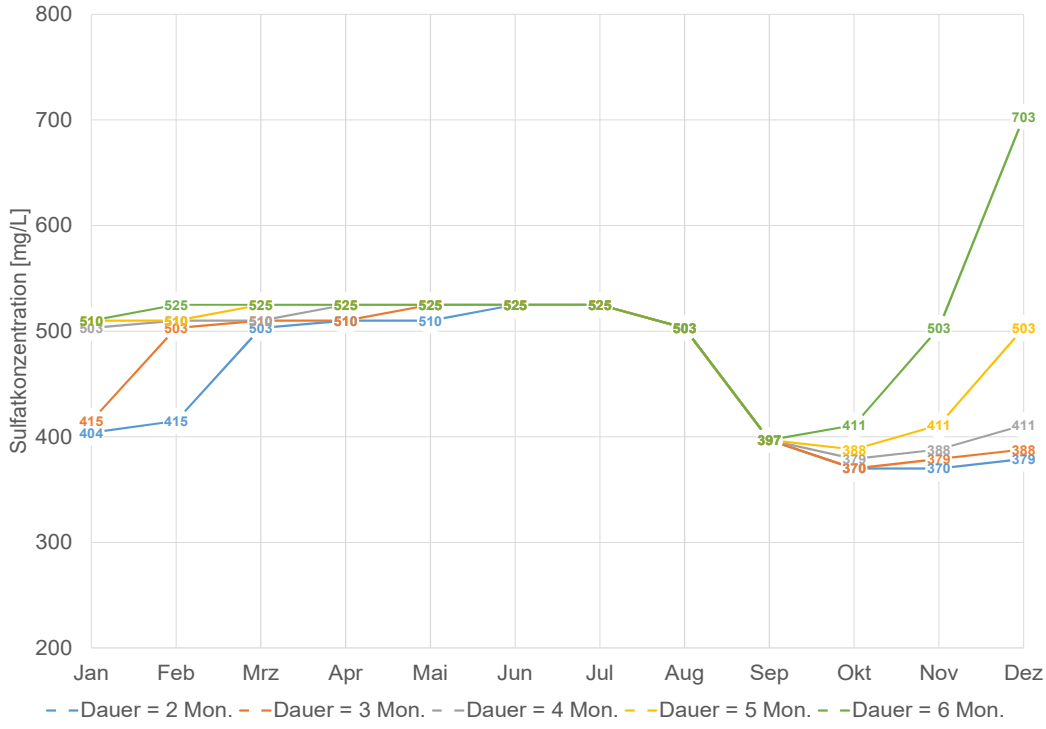


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

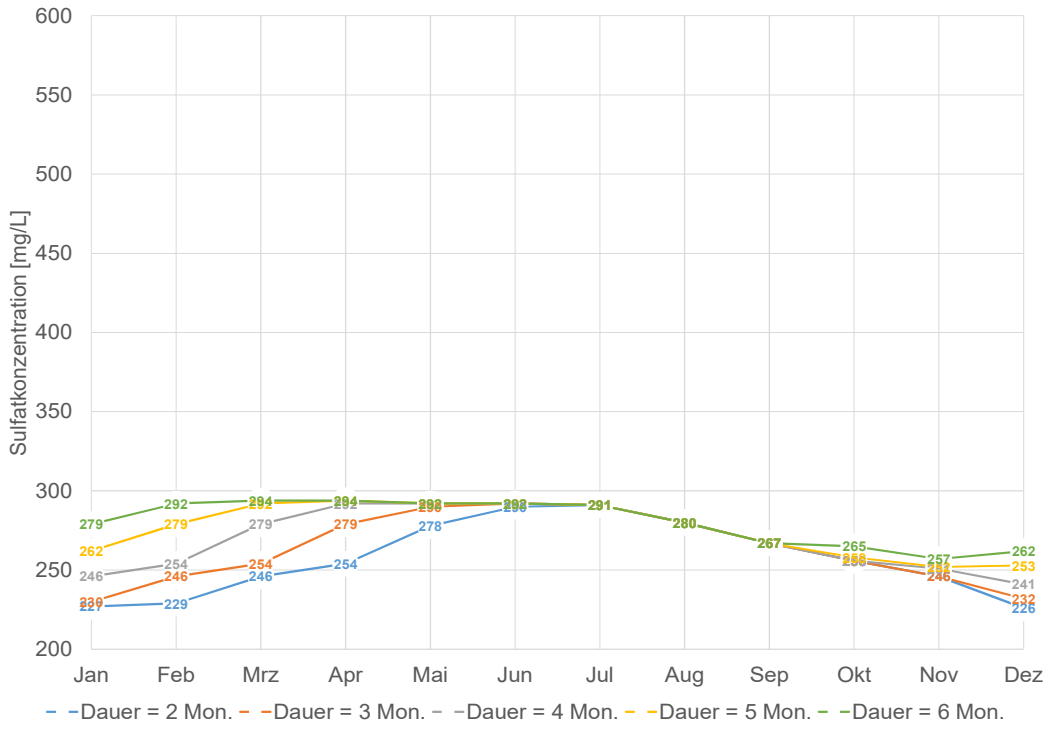


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Leibsch UP

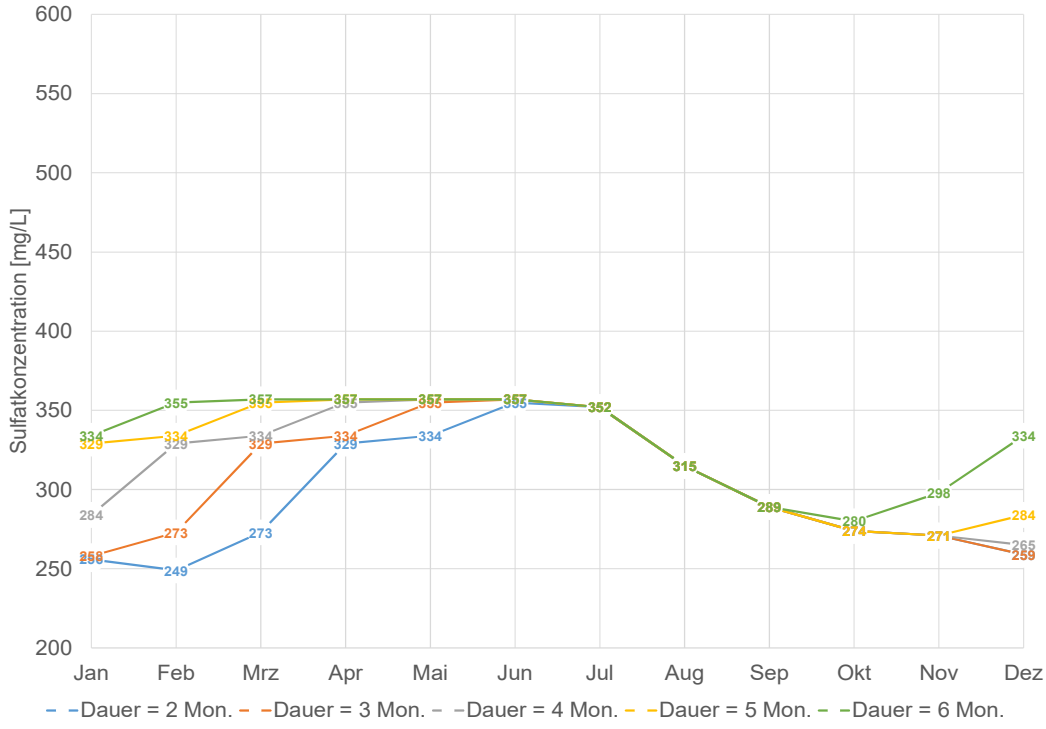


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

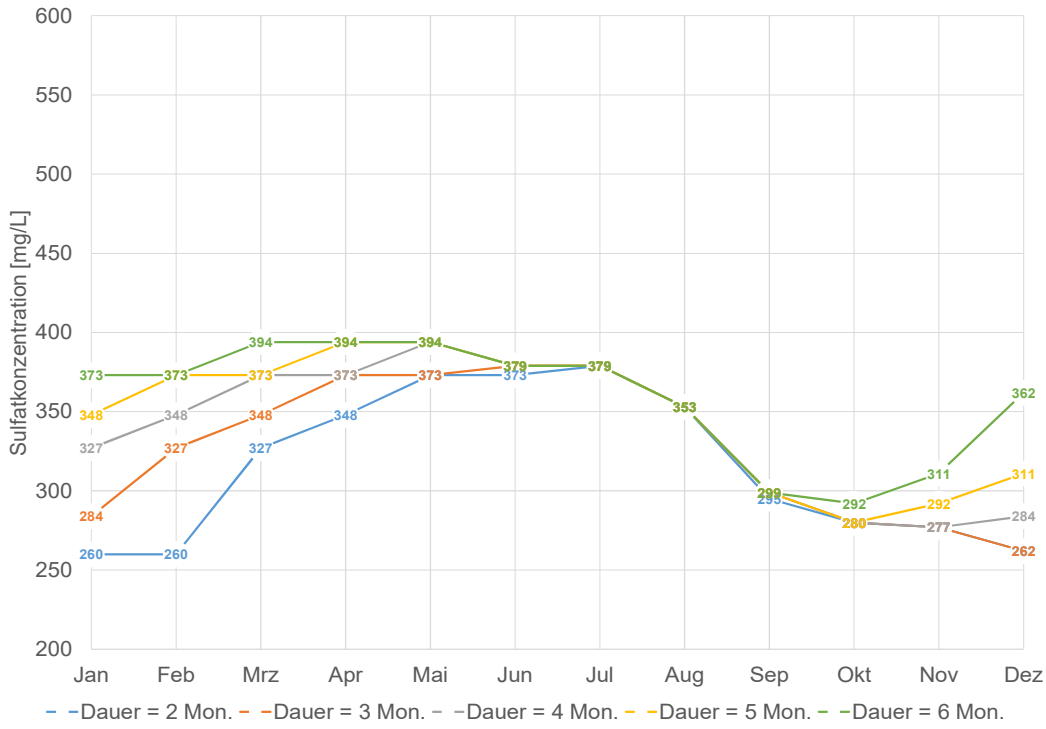


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Briesen

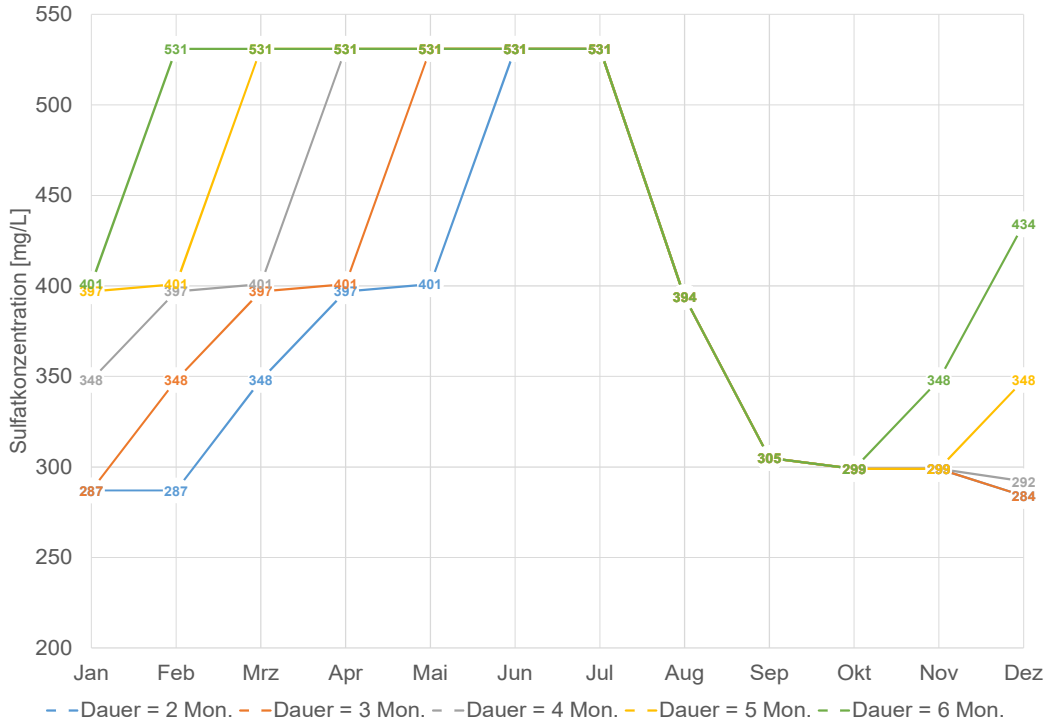


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

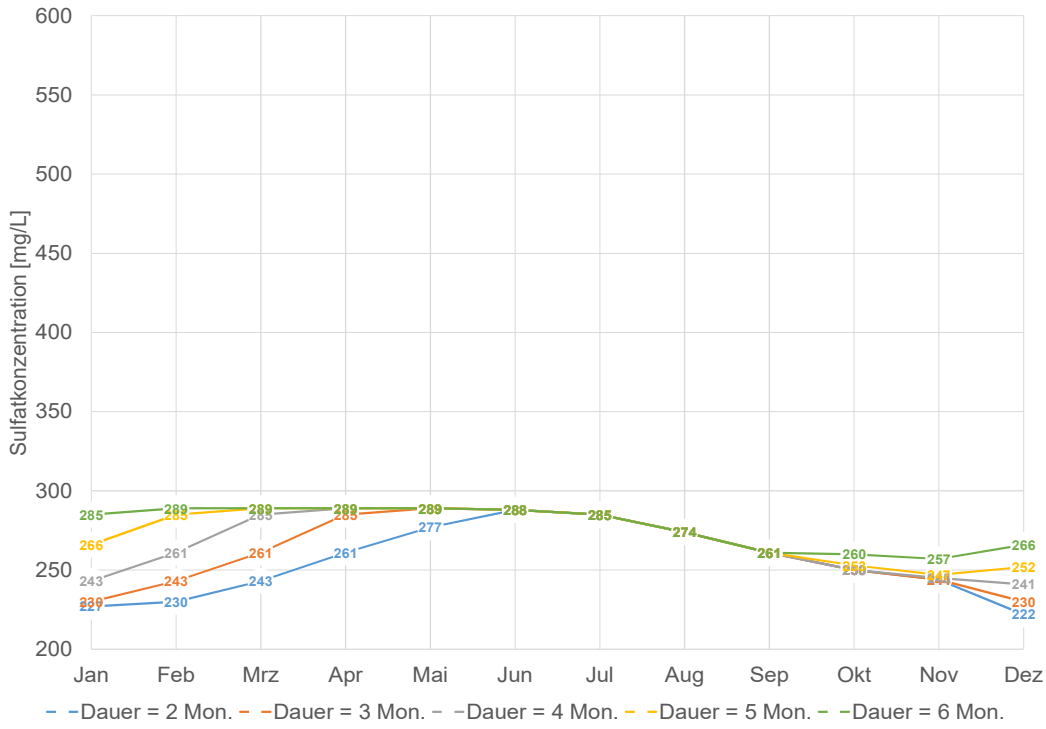


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Briesen

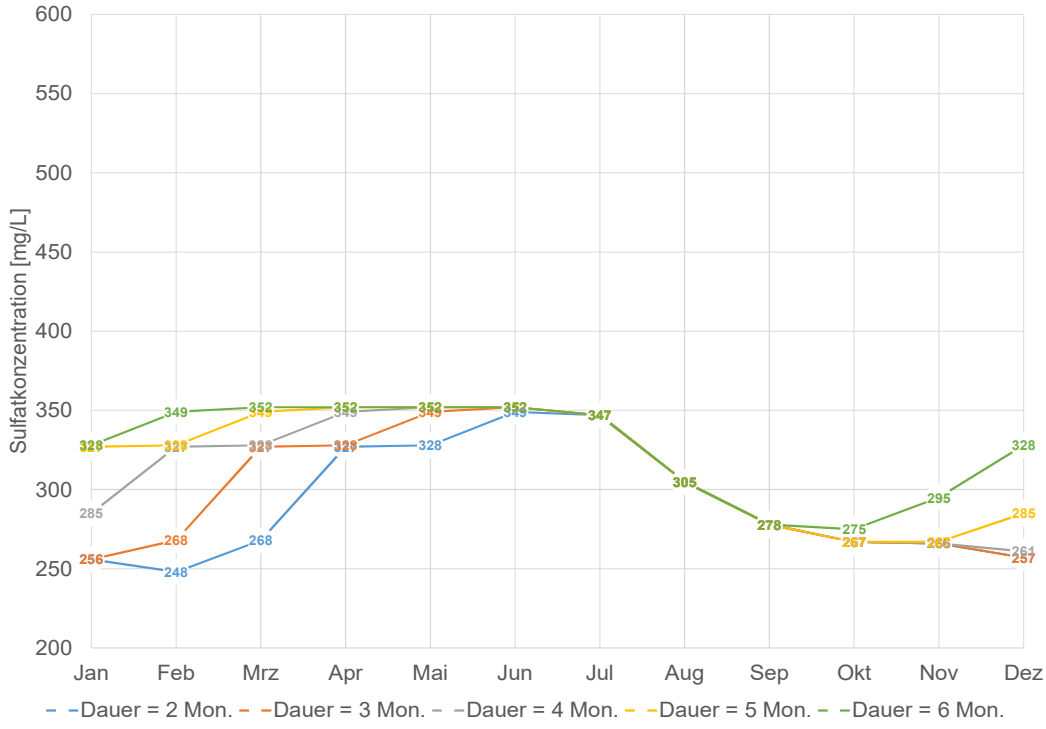


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

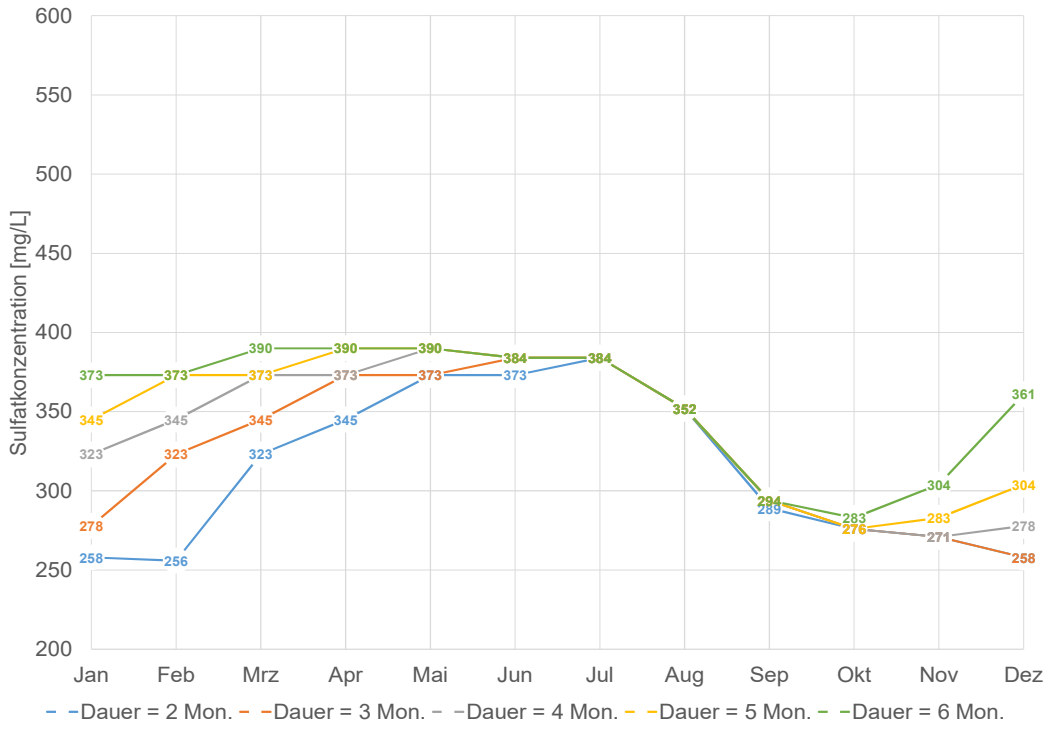


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Große Tränke OP

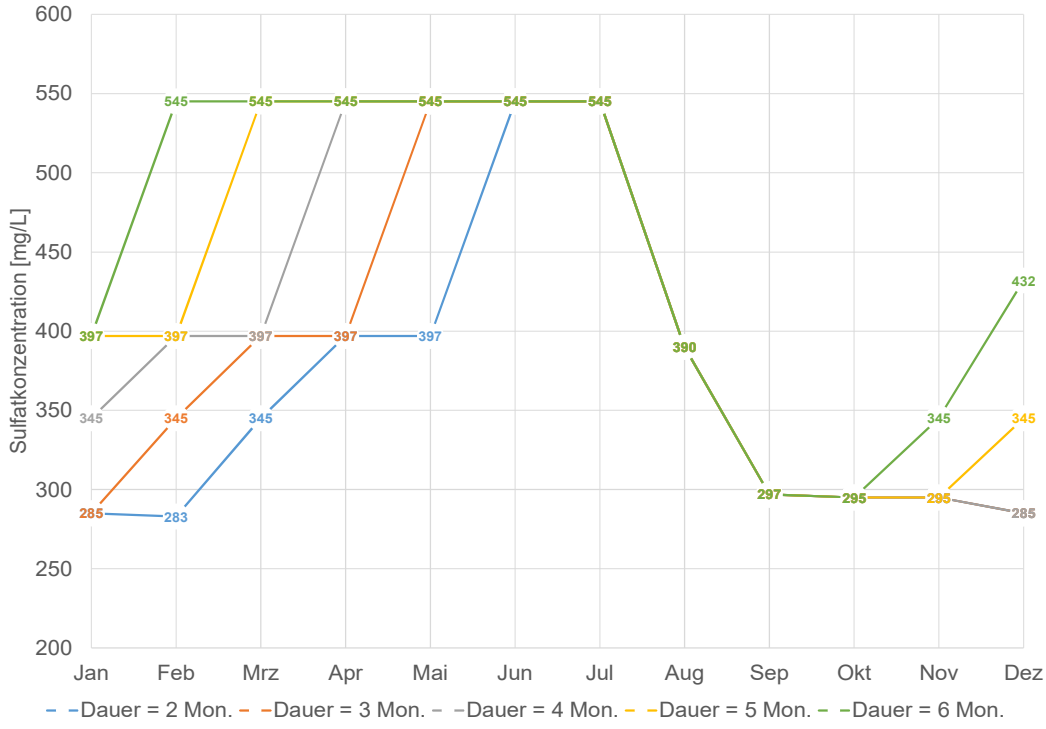


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

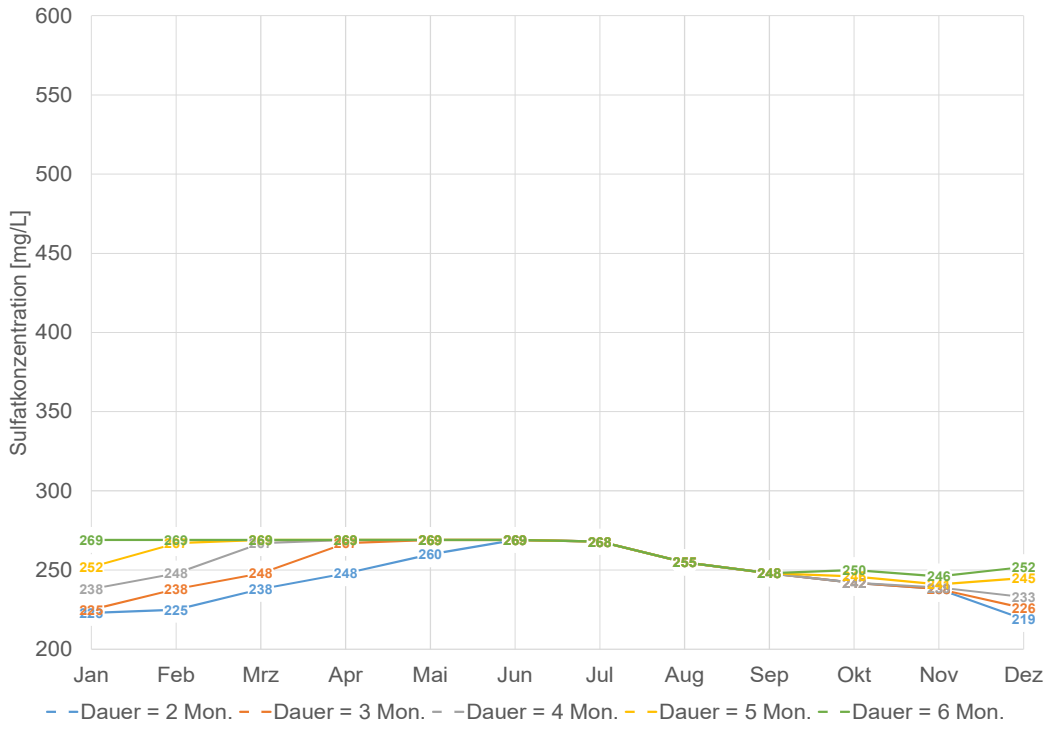


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Große Tränke OP

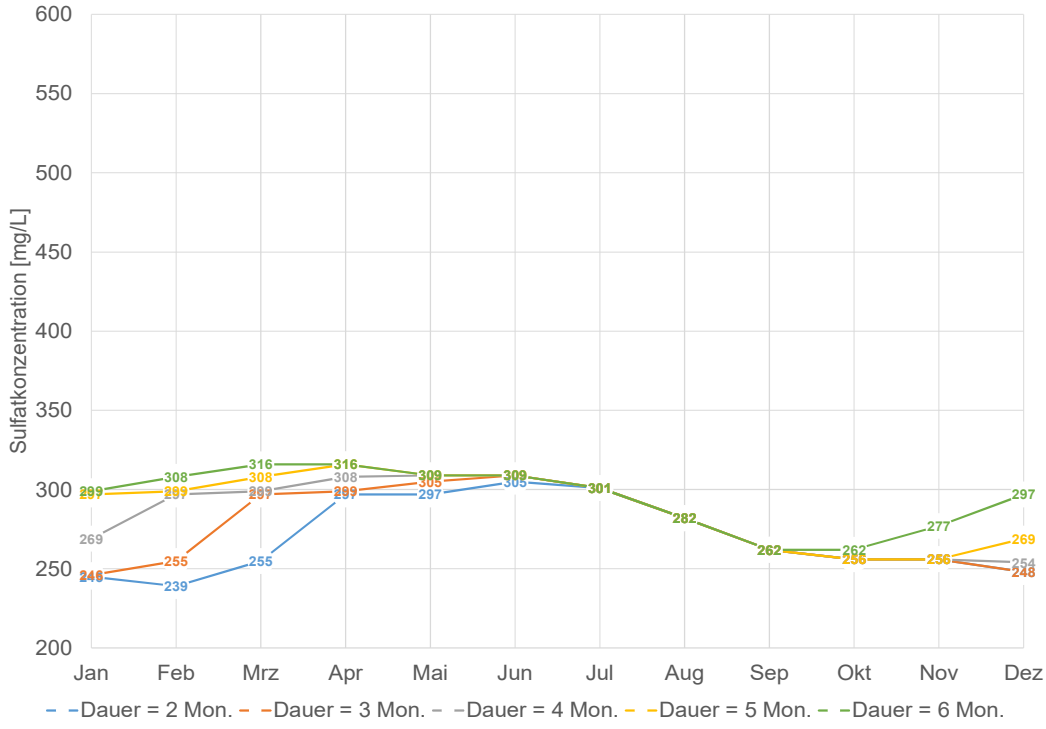


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

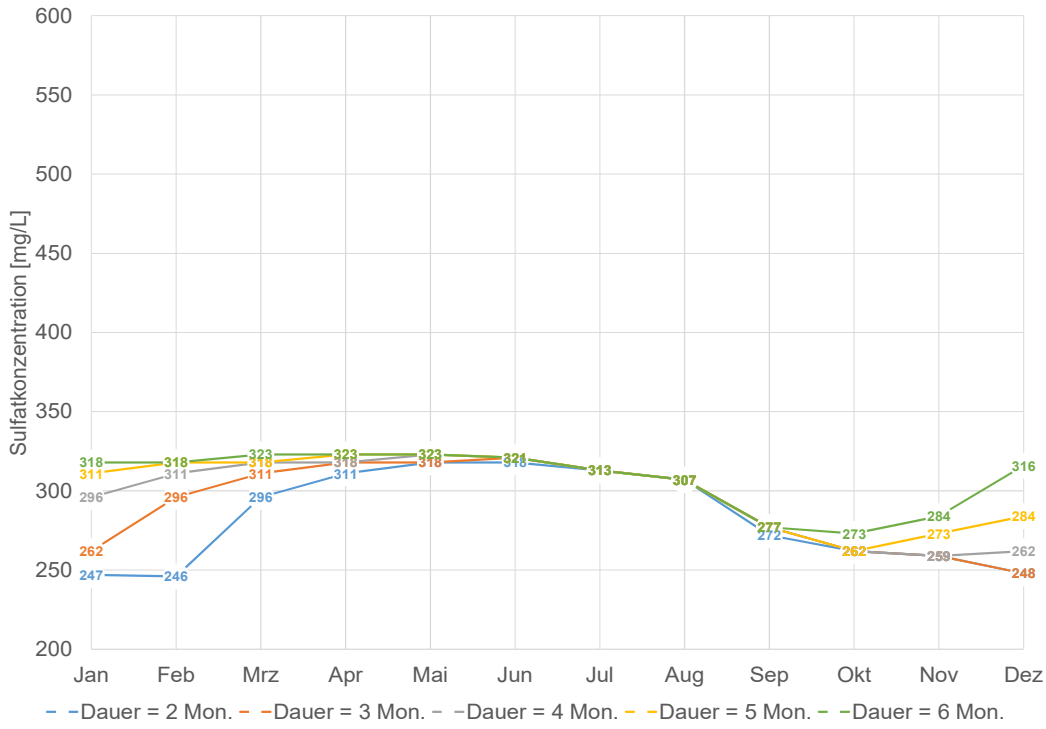


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Rahnsdorf

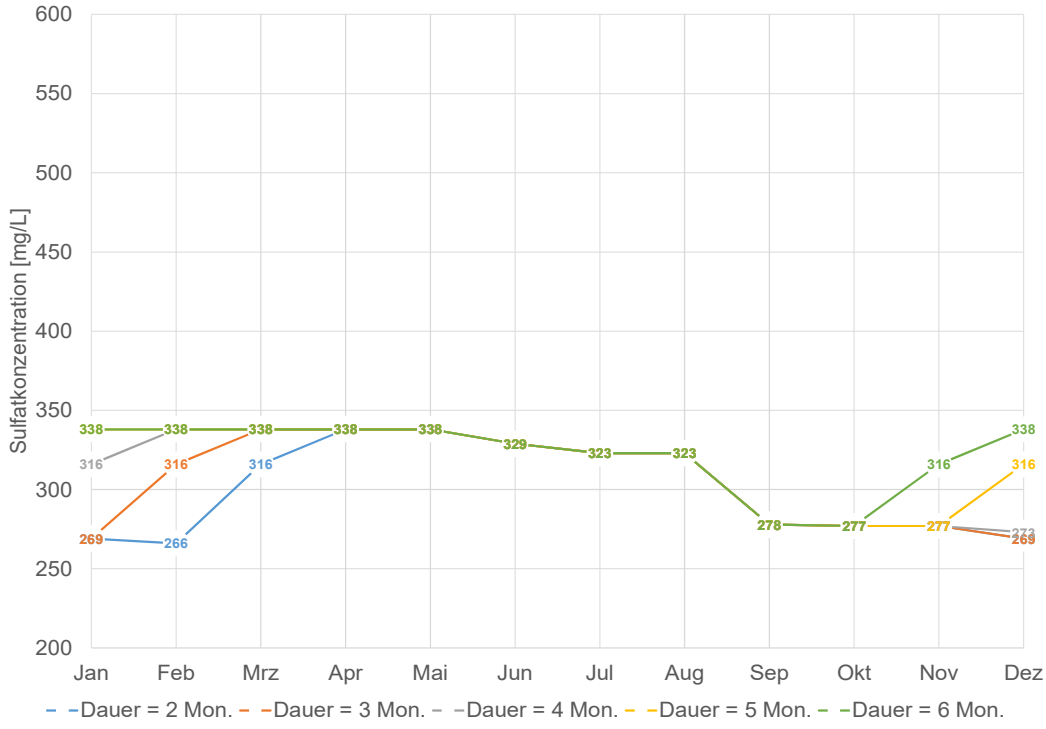


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

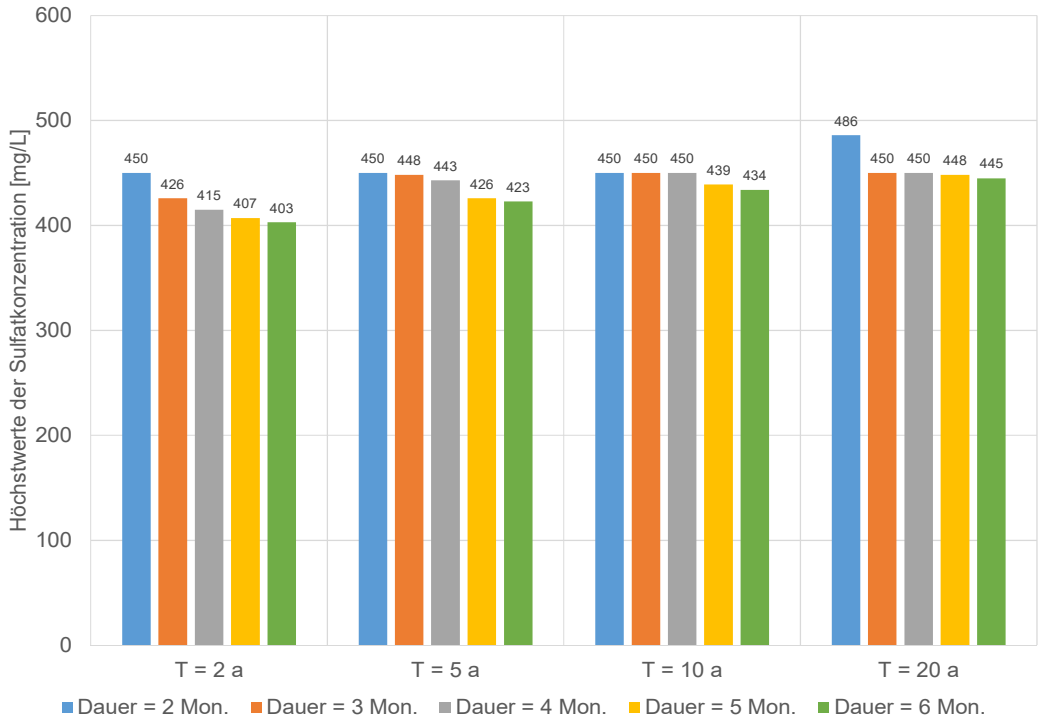


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Rahnsdorf

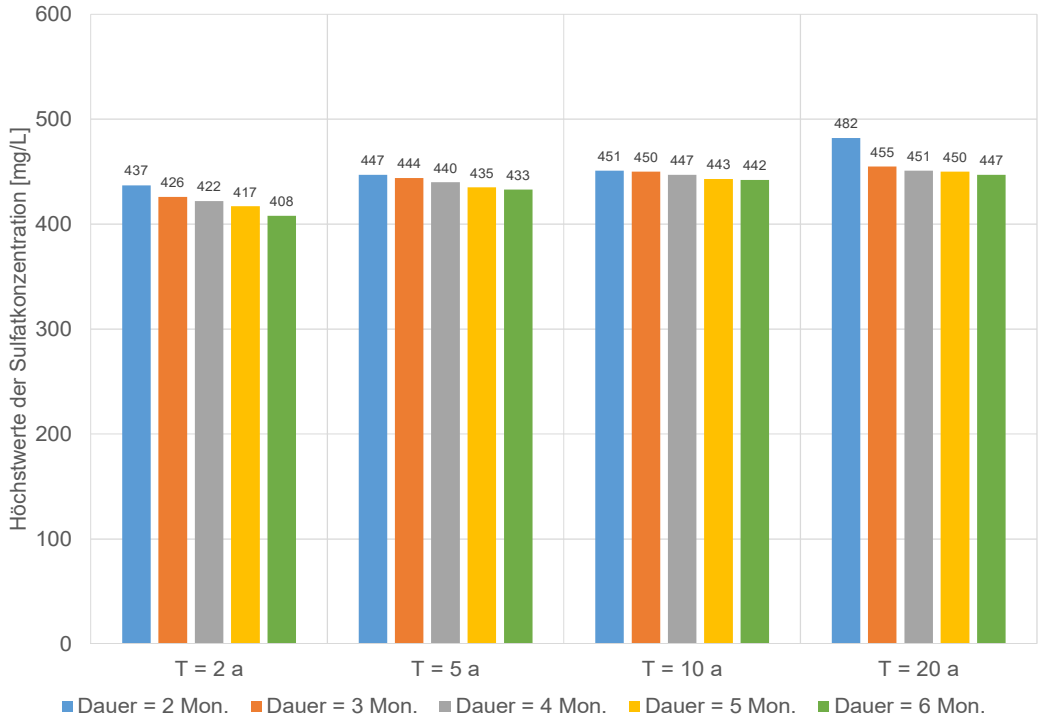


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstelle Rahnsdorf

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

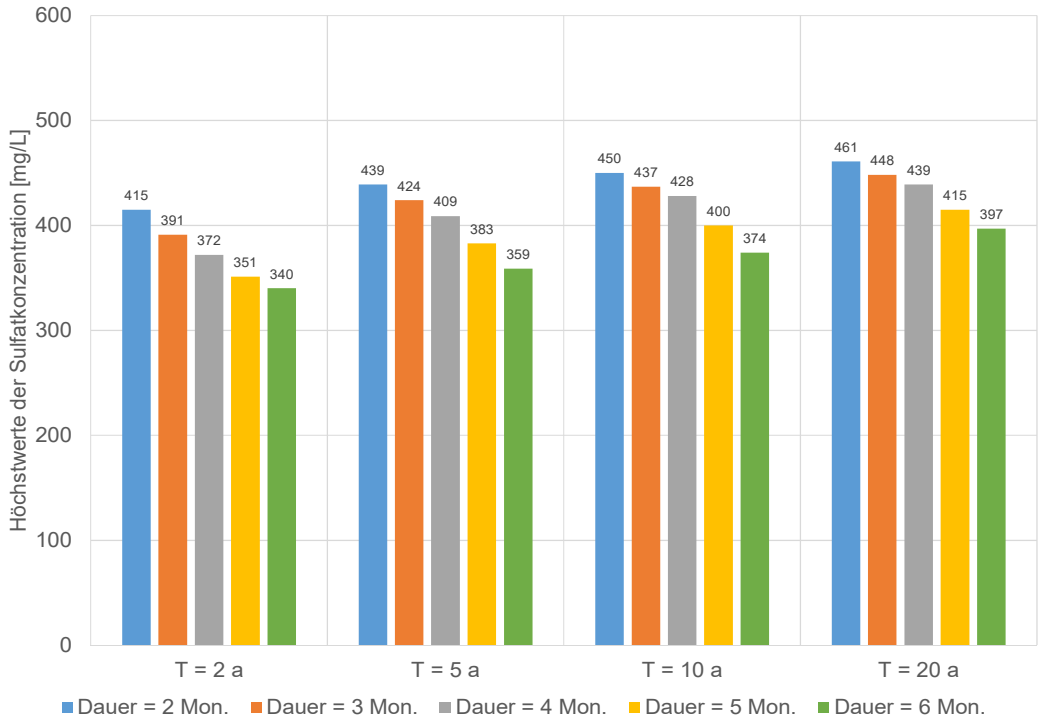


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

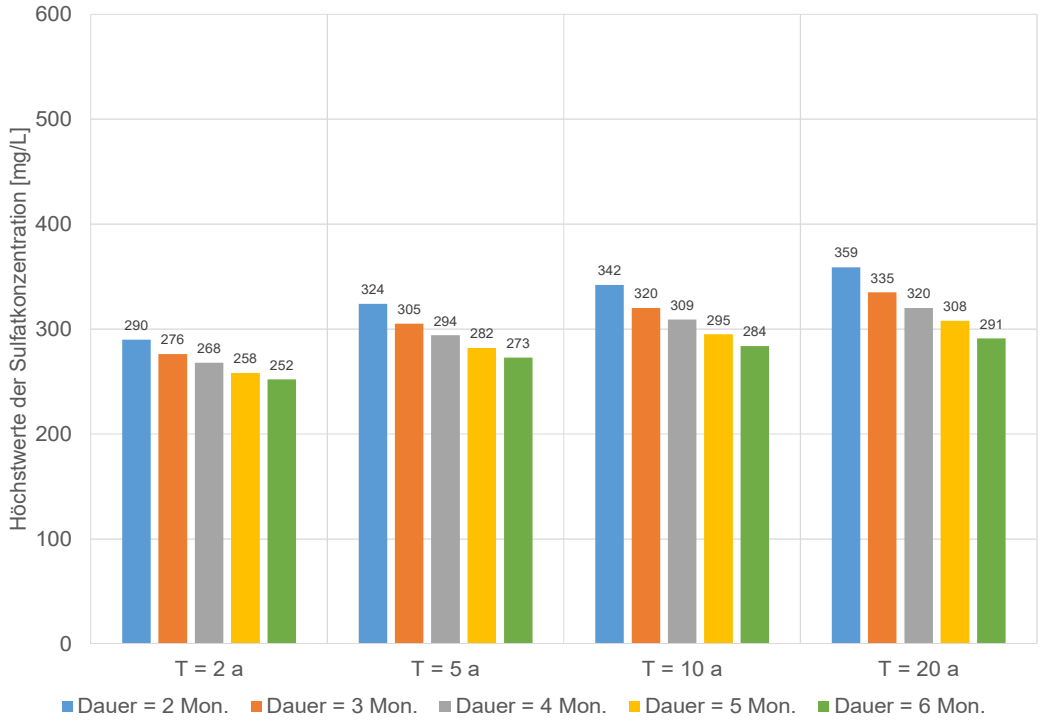


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Bräsinchen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)

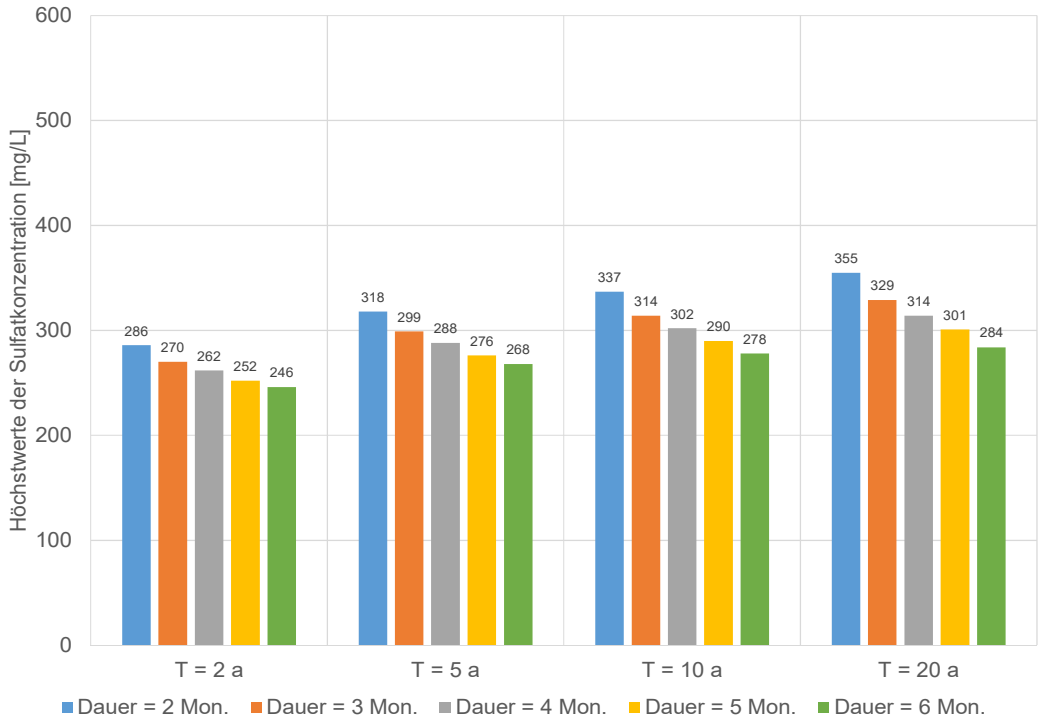


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Leibsch UP

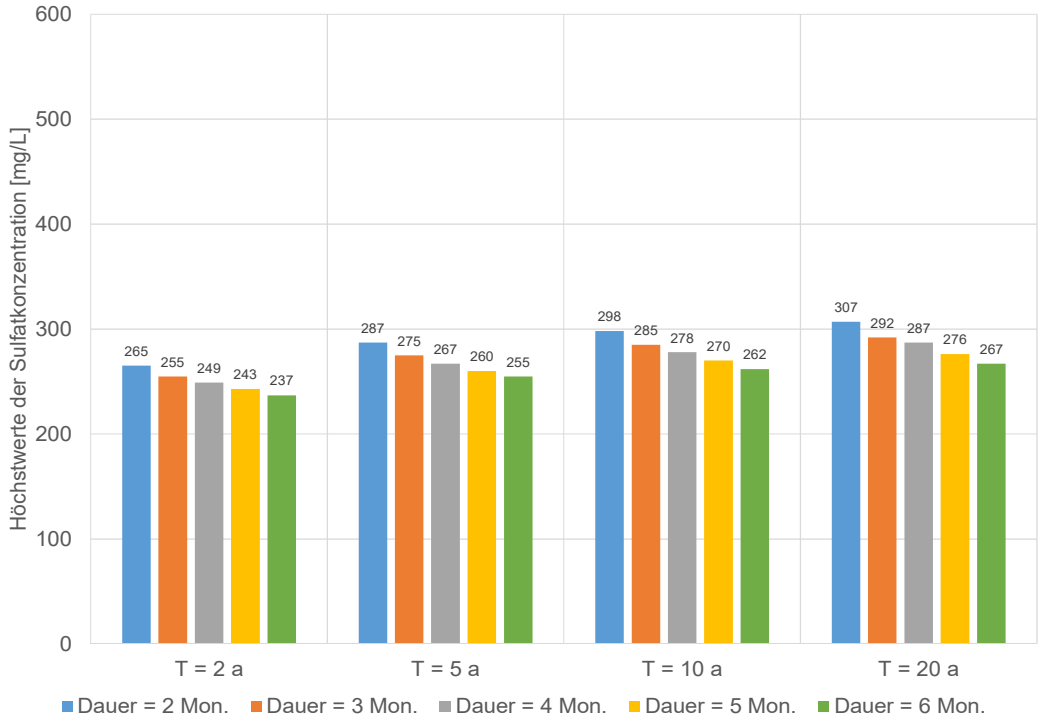


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Briesen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 3)



Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Große Tränke OP



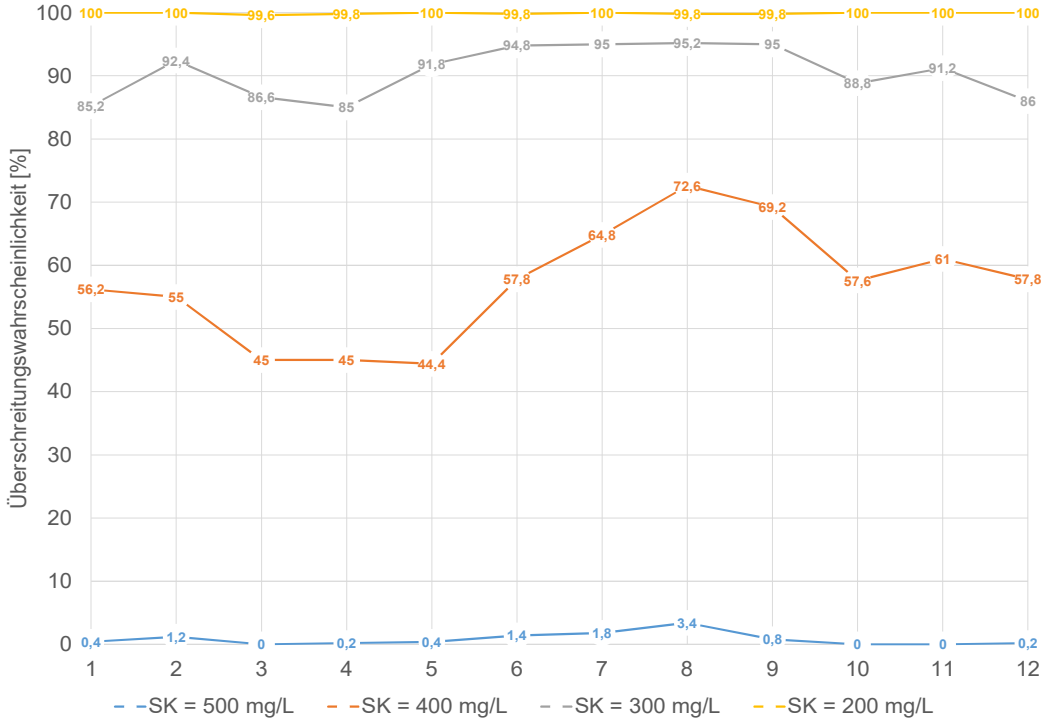
Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Rahnsdorf

ANHANG 3.3

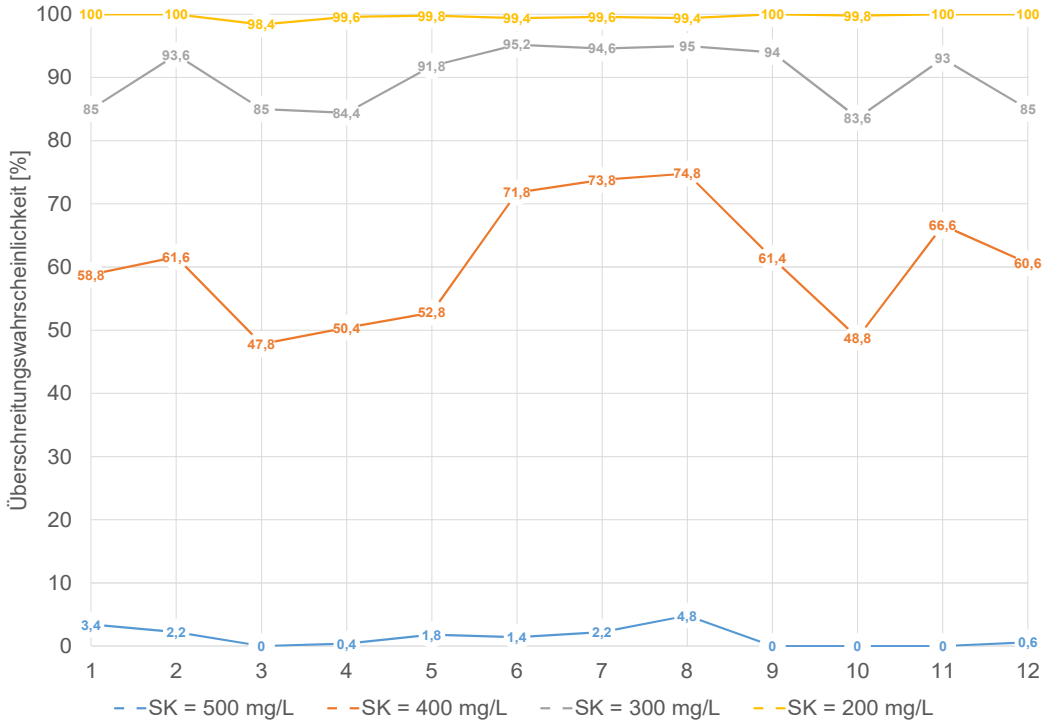
Auswertung Szenario 4

© DHI-WASY – 14803857_Sulfatprognosemodell/

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

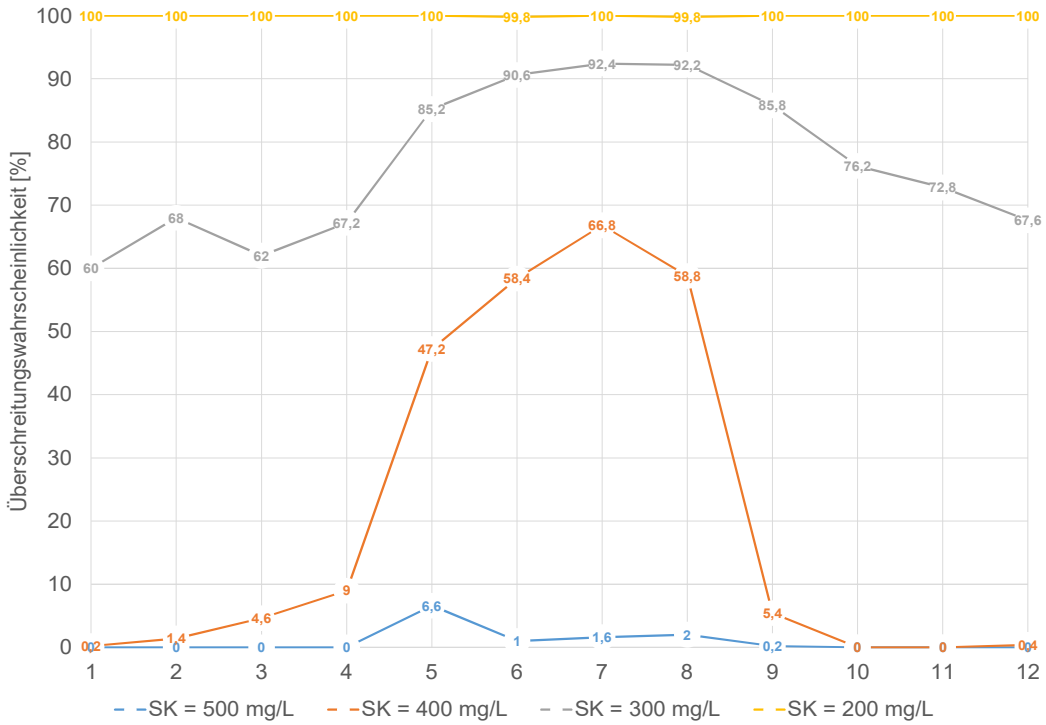


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

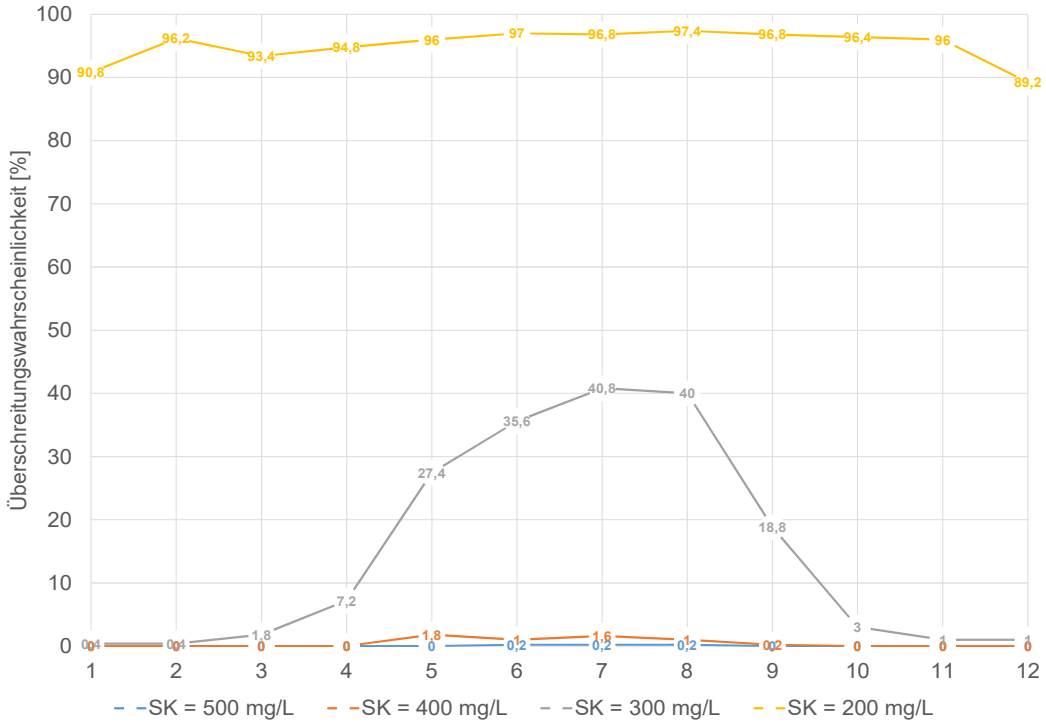


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Bräsinchen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

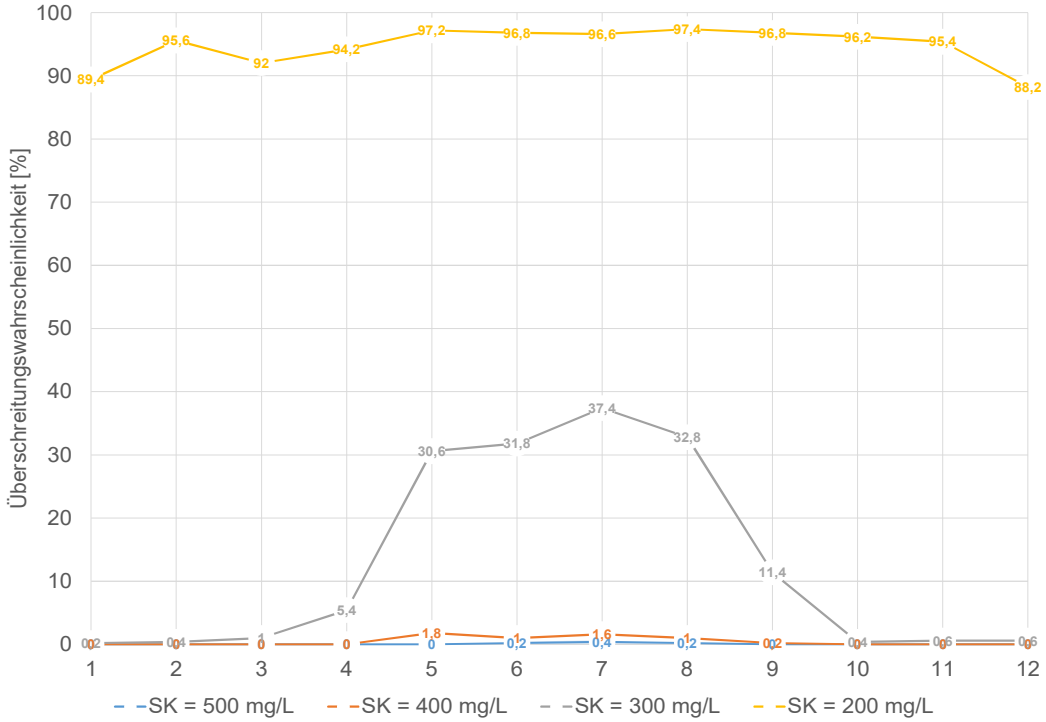


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Leibsch UP

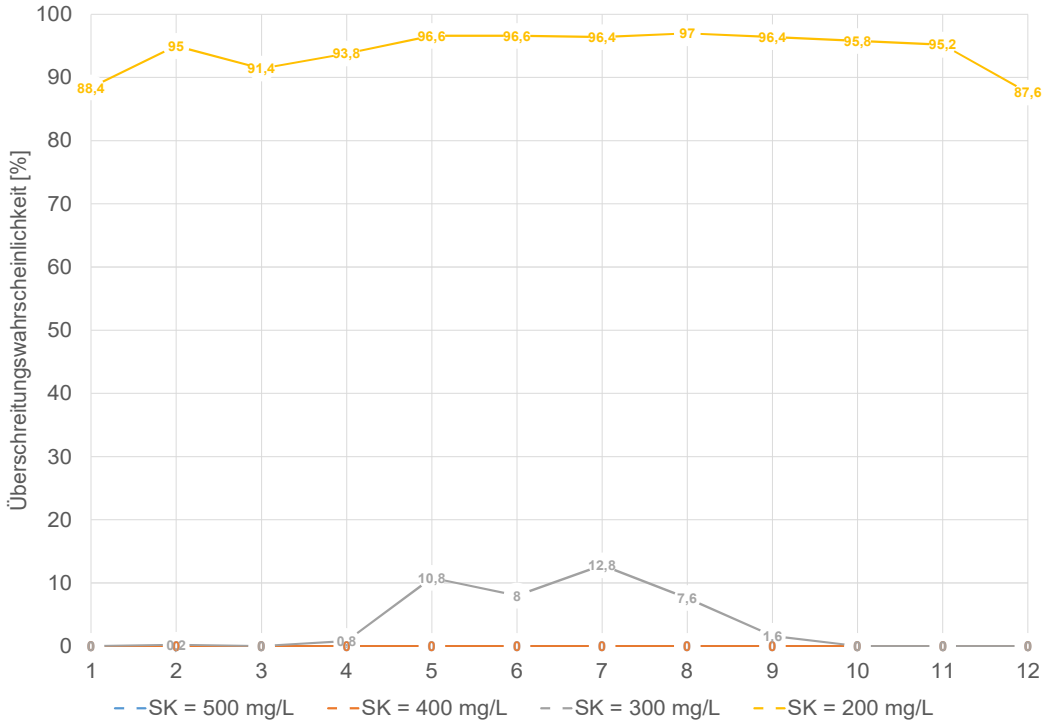


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Briesen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Große Tränke OP



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Rahnsdorf

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	2,6	0,8	0	0	0,4	0,6	0	1	1	0	0,0	0,2
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	1,8	0	0	0,2	0,2	0	0,6	1,2	0	0	0,2	0
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,6	0	0	0,2	0,2	0,2	1,2	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0	0	0	0,2	0,6	0,6	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0	0	0	0	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,4	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Bräsinchen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	0,6	0,6	0	1	0	0	0,2	0,2	4,2	0	0	0
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	1	0	0,2	0	0,2	0,4	0,2	2,4	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,4	0	0	0,2	0,2	0,4	1,2	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0,6	0	0	0	0	0,6	0,2	0,4	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0	0	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0,4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0	0	0,2

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Leibsch UP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 300 mg/L	1	2018-2022	0,4	4,6	2,6	1	1	0,6	1,2	1	0,8	0,2	2	2,2
SK = 300 mg/L	2	2018-2022	0,6	1	0,8	0	2	0,4	1,6	0,6	0,2	0,4	0,4	0,4
SK = 300 mg/L	3	2018-2022	0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,6	1,2	0,2	0,4	0	0	0,2
SK = 300 mg/L	4	2018-2022	0	0,4	0,2	0	2	1,6	1,2	0,2	0	0	0,6	0
SK = 300 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0,2	0,2	2,4	0	0,4	0	0	0,2	0	0
SK = 300 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0	1,2	1	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0,2	1	1,8	0,8	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	8	2018-2022	0	0,6	0,2	0,8	1	0	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	9	2018-2022	0	0	0,2	0,8	0	0,8	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	10	2018-2022	0,2	0,4	0,4	0,8	2	0,4	0,2	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	11	2018-2022	0	0,6	0,2	1,4	0,8	0	0	0	0	0,2	0	0
SK = 300 mg/L	12	2018-2022	0,4	2,6	4	4,4	7,4	2	0,6	0	0	0	0,8	1

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Briesen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 280 mg/L	1	2018-2022	0,6	1	0,8	2,2	7	4	4,2	4,6	2,6	1,6	0,4	1,2
SK = 280 mg/L	2	2018-2022	0	0	0	0,8	5,4	0,6	5,8	2,6	0,6	0	0	0,2
SK = 280 mg/L	3	2018-2022	0	0	0	1,2	2,4	4,8	3,6	1	0,2	0	0	0
SK = 280 mg/L	4	2018-2022	0,2	0	0,8	0,4	4,2	4,2	1,2	0,8	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	5	2018-2022	0	0	0	1,6	3,2	2,4	0,8	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,4	2	4,2	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	7	2018-2022	0	0	0,2	1,2	2	0,2	0,2	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	8	2018-2022	0	0,2	0,6	1	1	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	9	2018-2022	0	0	0,4	0,8	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	10	2018-2022	0	0,4	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	12	2018-2022	0	0,2	0	0	0,2	0	0	0	0	0	0	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

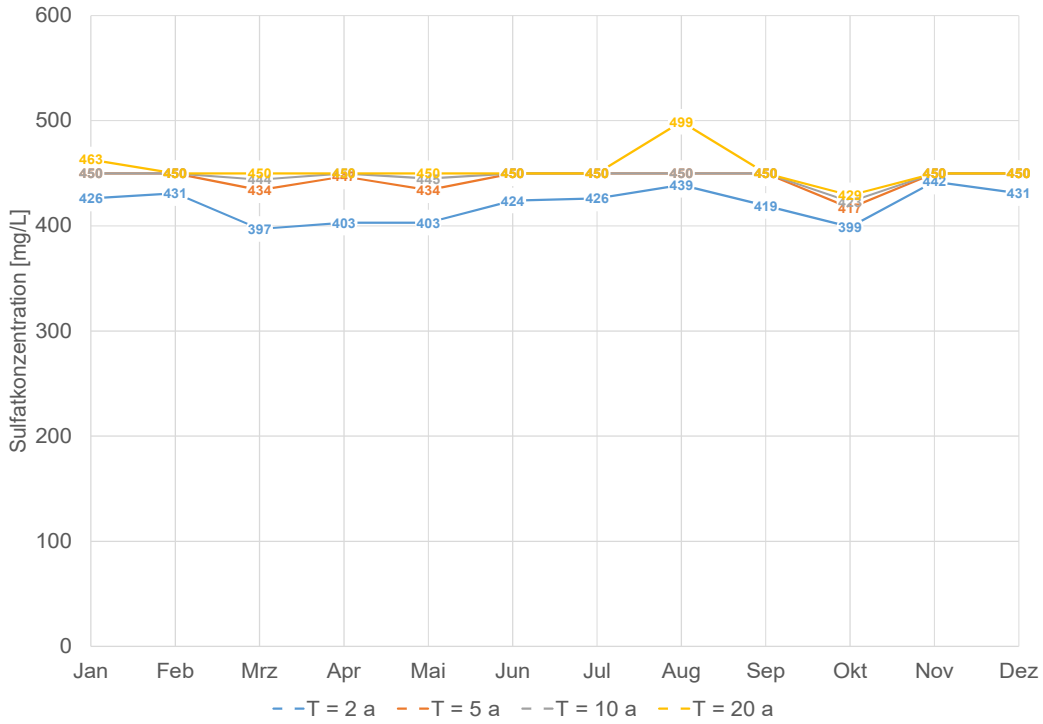
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Große Tränke OP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,4	4,8	1,6	1,8	2,4	1,2	1,4	0,6	0,6	0,4	3	0,8
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,4	0,8	0,6	0,6	1,4	0,4	0,8	0,4	0,2	1,2	0,8	0
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0	1,4	0,2	0,6	0,4	0,2	0,6	0	0,8	0,4	0,2	0,2
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,6	0,8	0,4	0,4	1	0,4	0,8	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0	0	0,2	0,8	0,2	1,2	0,2	0,4	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0,2	0,2	0	0,6	0,6	0	0	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0,2	1,2	1,4	0,8	0,8	0,4	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	1	0,2	2,4	0,8	0,2	0,4	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0,2	0	0,4	2,4	0,6	0,6	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	0,6	1,4	1	1,4	0,2	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,6	1,2	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,8	3,4	4,4	4,4	4	1,6	0,8	0,2	0,6	0,4	0,8	0,2

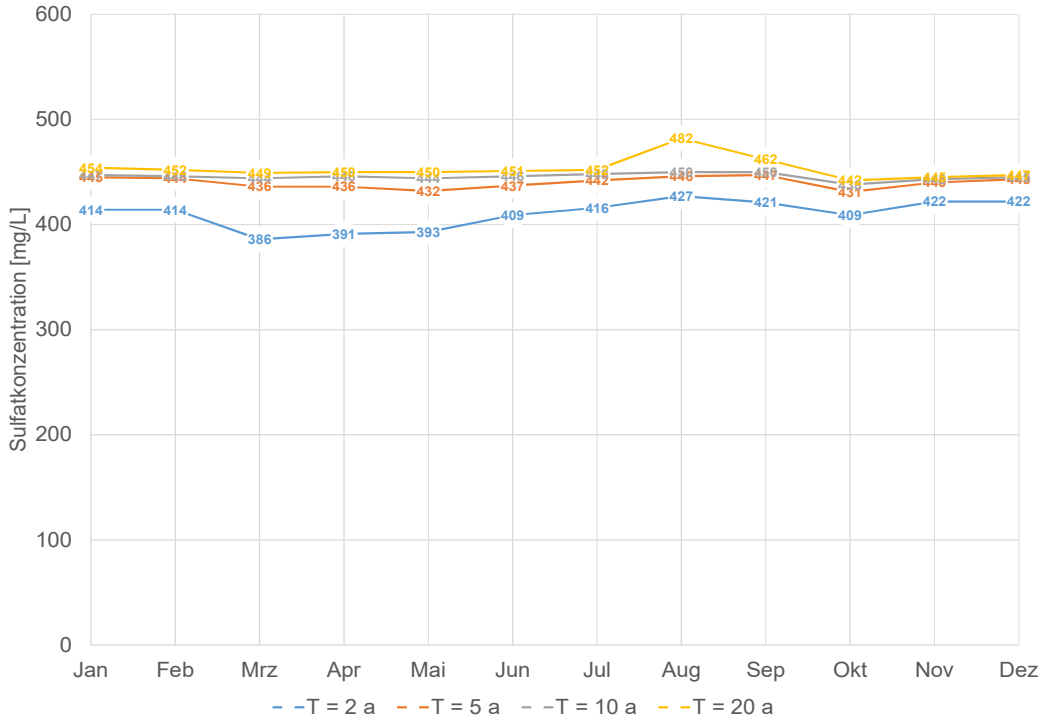
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Rahnsdorf

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,6	5,6	1,2	2	3,6	1,8	1,6	0,8	0,6	1,8	2	1
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,6	0,8	0,8	1,8	1,4	0,2	1,6	0,4	0,2	1,2	0,8	0,4
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0	1,2	0,8	1,2	0,6	0,2	0,6	0,2	1,2	0,4	0	0,6
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,2	0,6	0,4	0,8	1	0,8	0,6	0,2	0	0,2	0
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4	0,2	2	0,4	0,6	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0	0,6	0,6	0	0,6	0,2	0,4	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0,4	0,6	1,2	2	0,6	0,6	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,4	0,4	1,4	2	1	0,6	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0,2	0,2	0,8	3,8	0,6	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	1	1	0,6	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,6	0,8	1,4	0,4	0	0	0,2	0	0	0	0,2
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,8	3,2	4	5,2	4	1,2	1,4	0,2	0,4	0,2	0,4	0,2

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

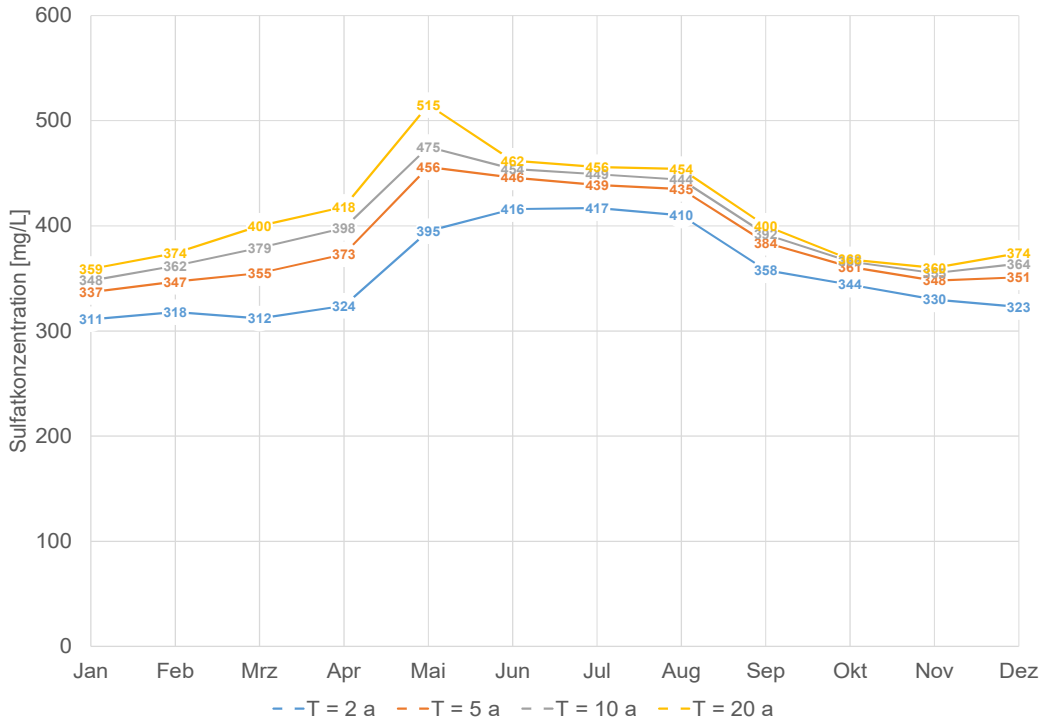


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

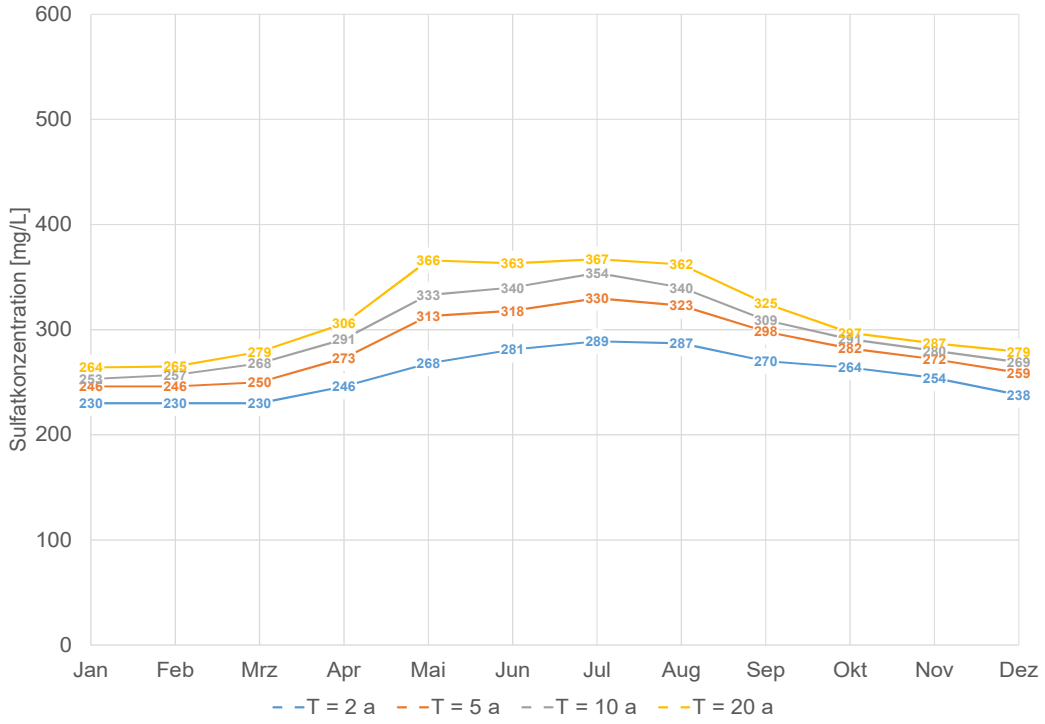


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

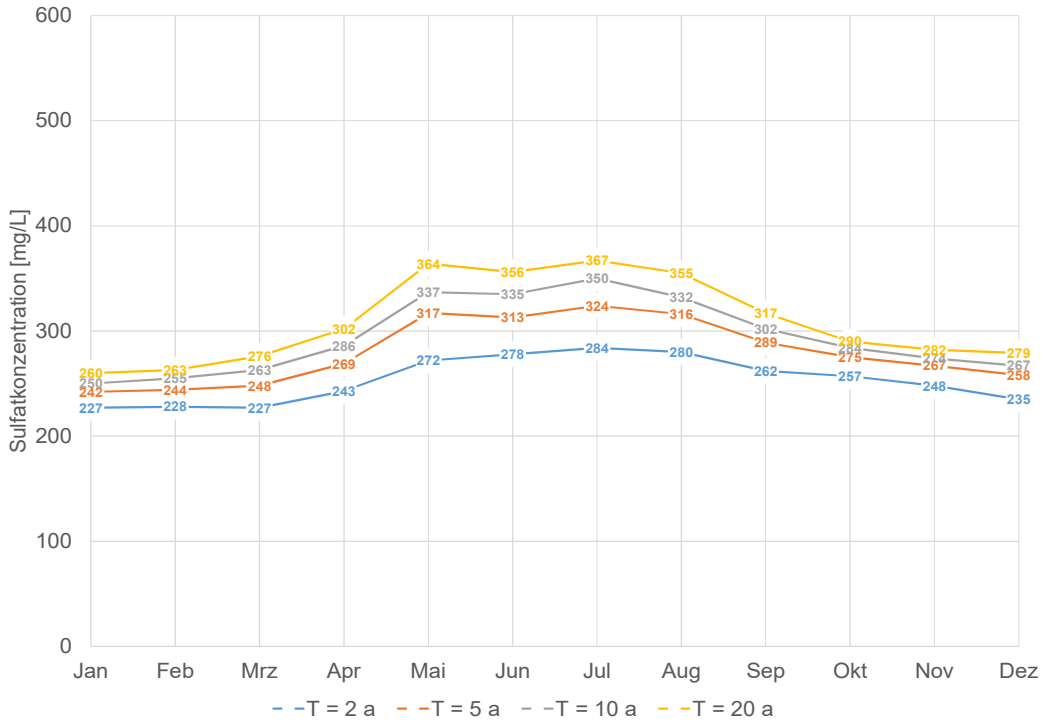


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Leibsch UP

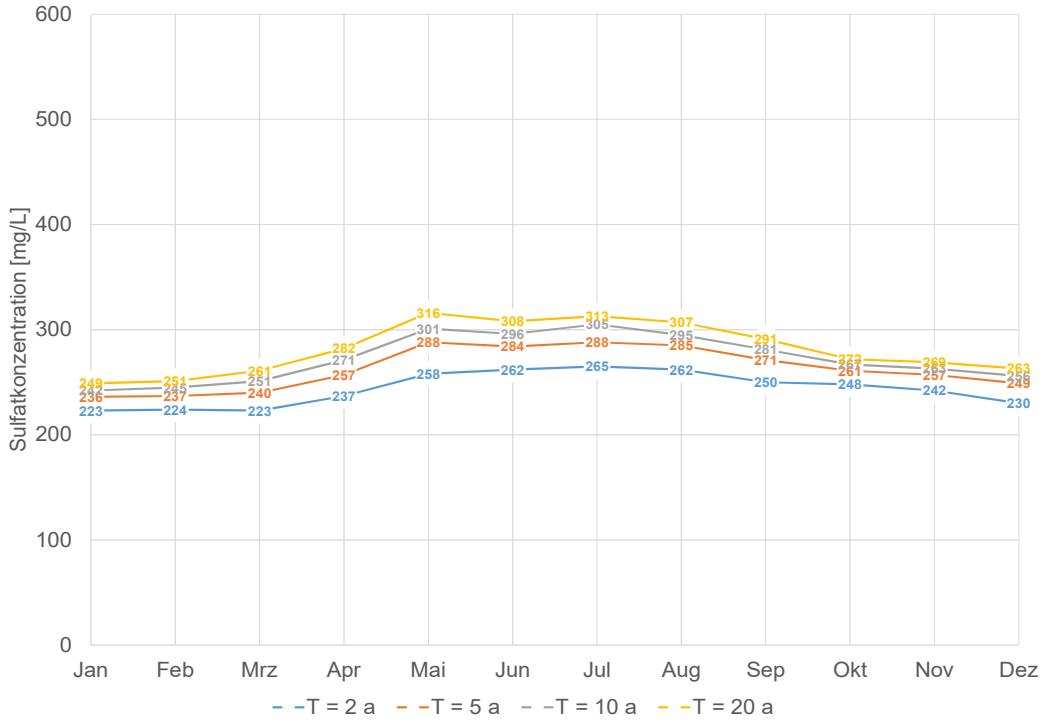


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

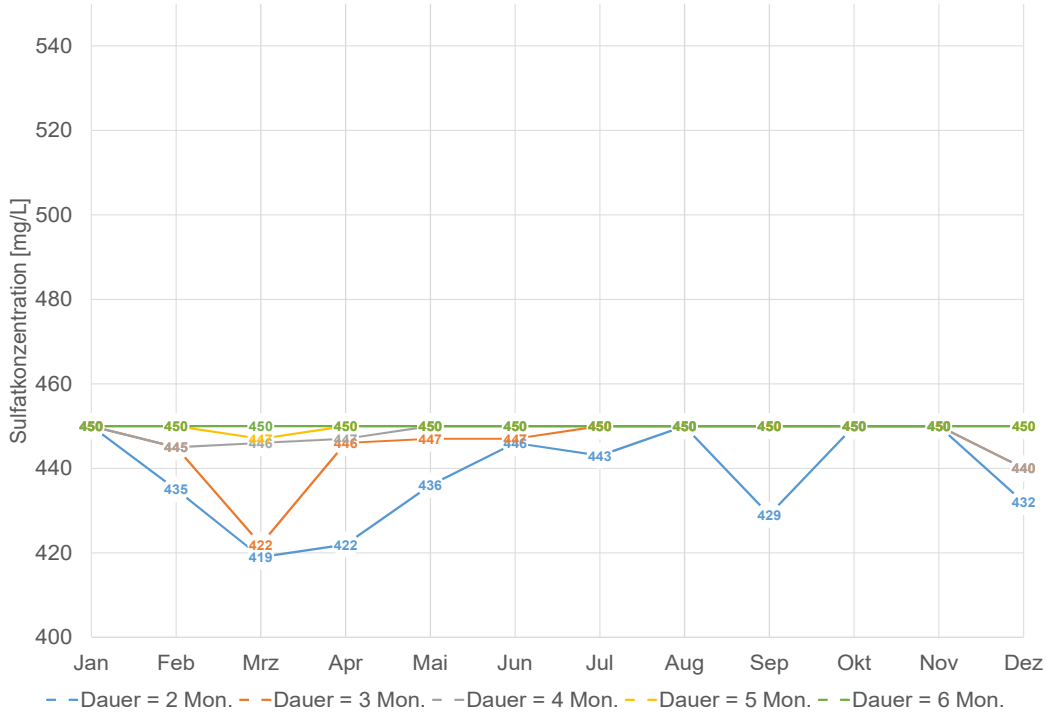


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Große Tränke OP

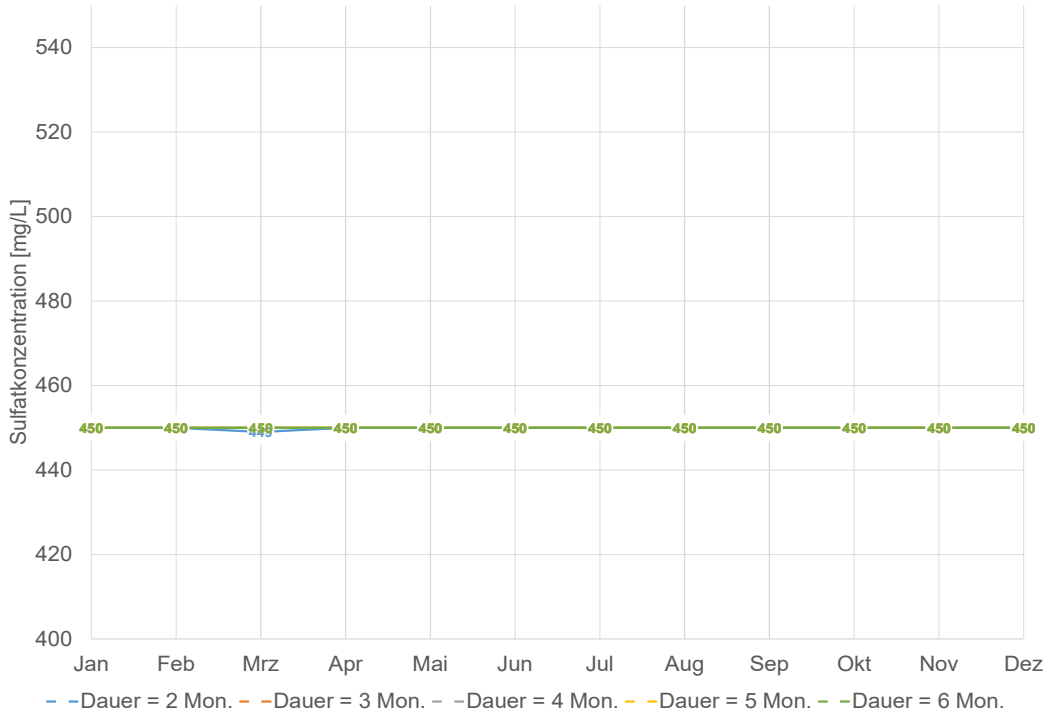


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

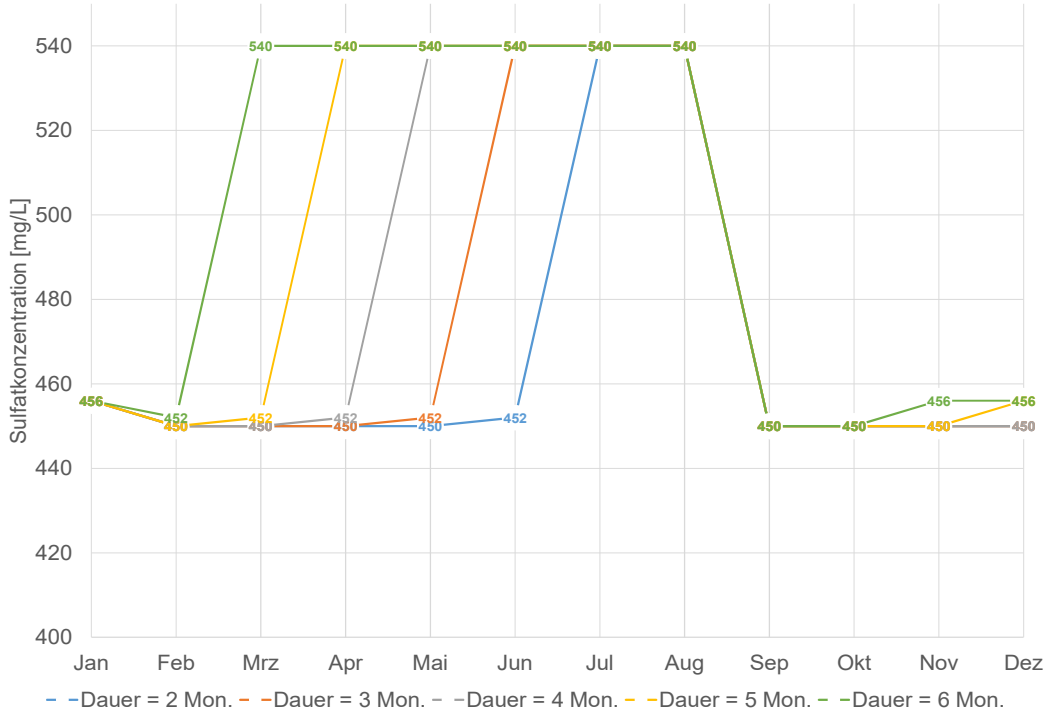


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

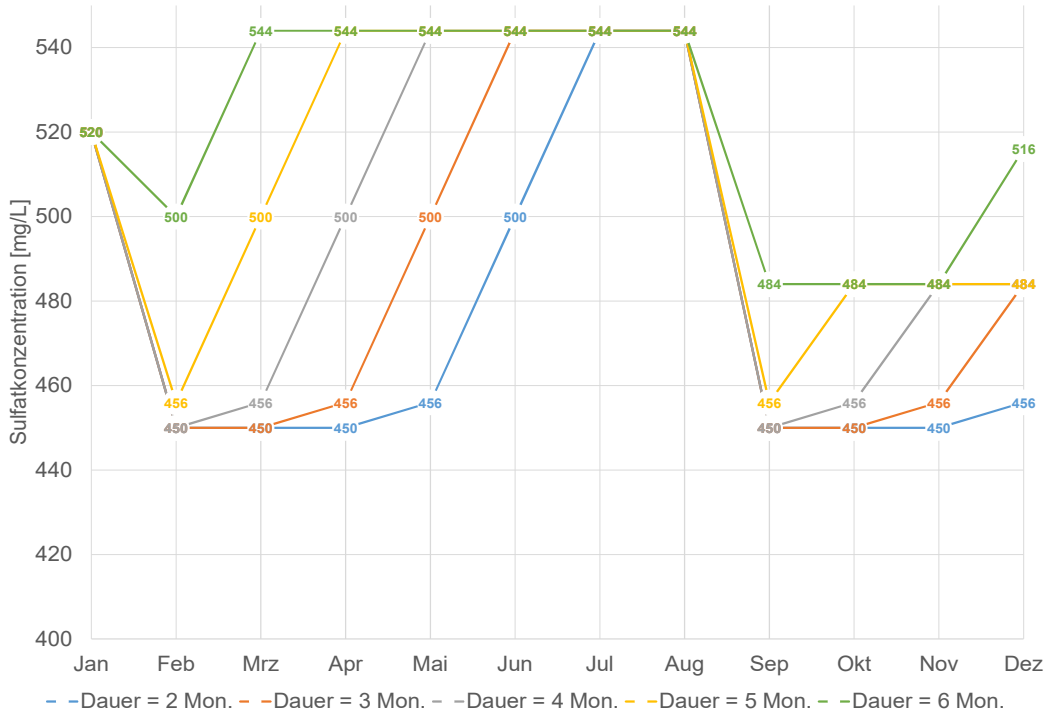


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

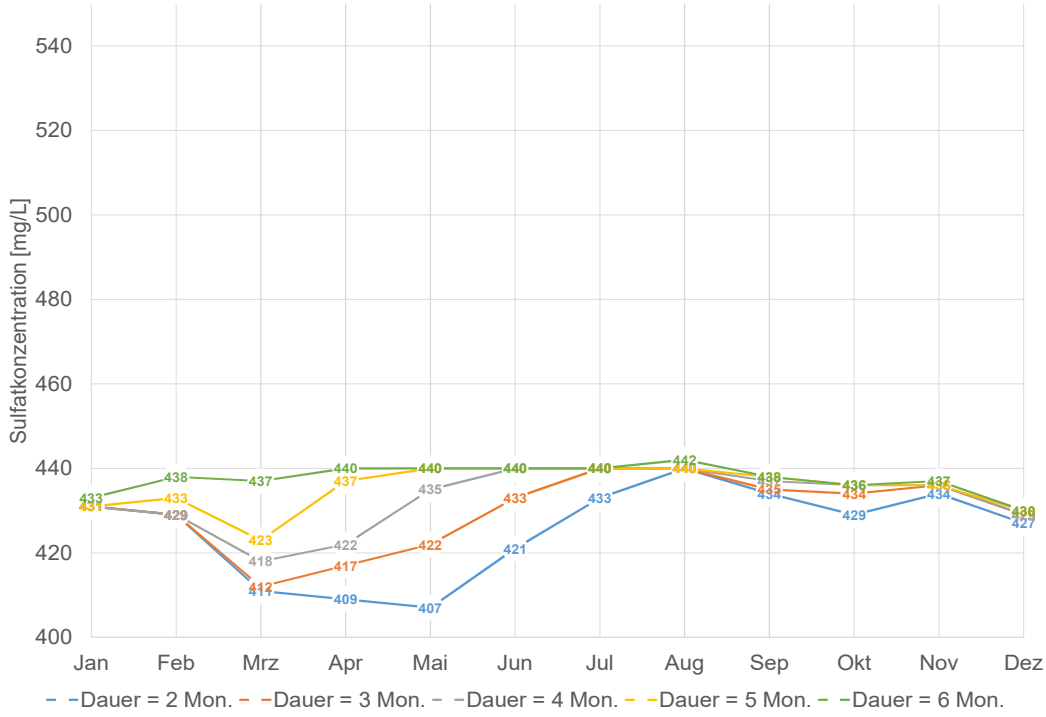


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

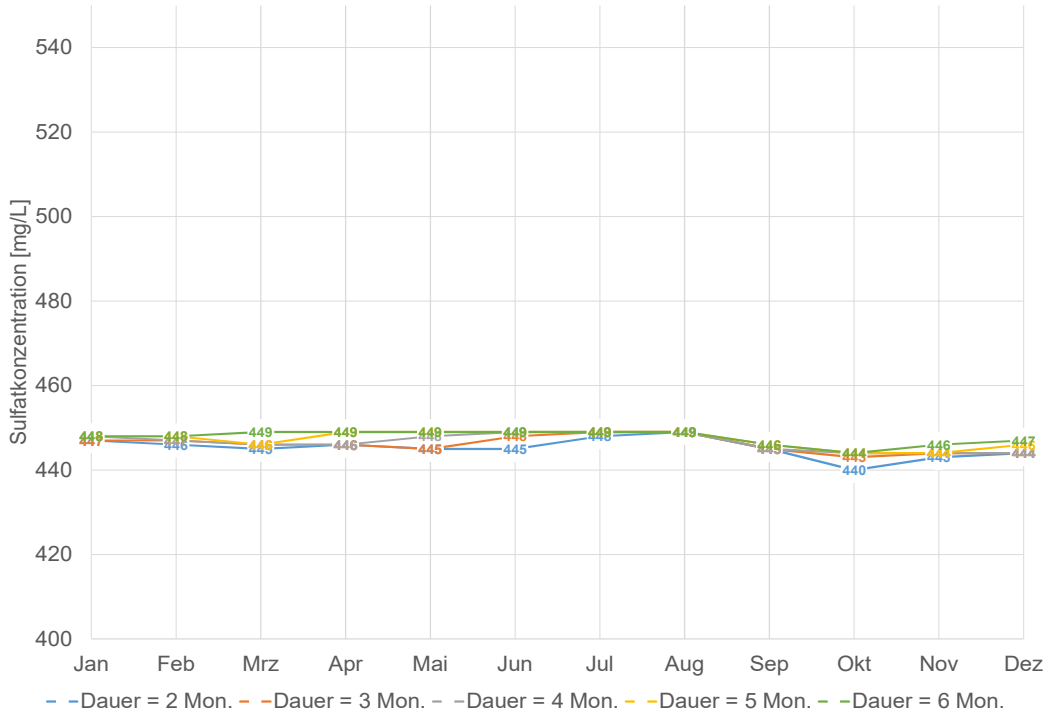


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

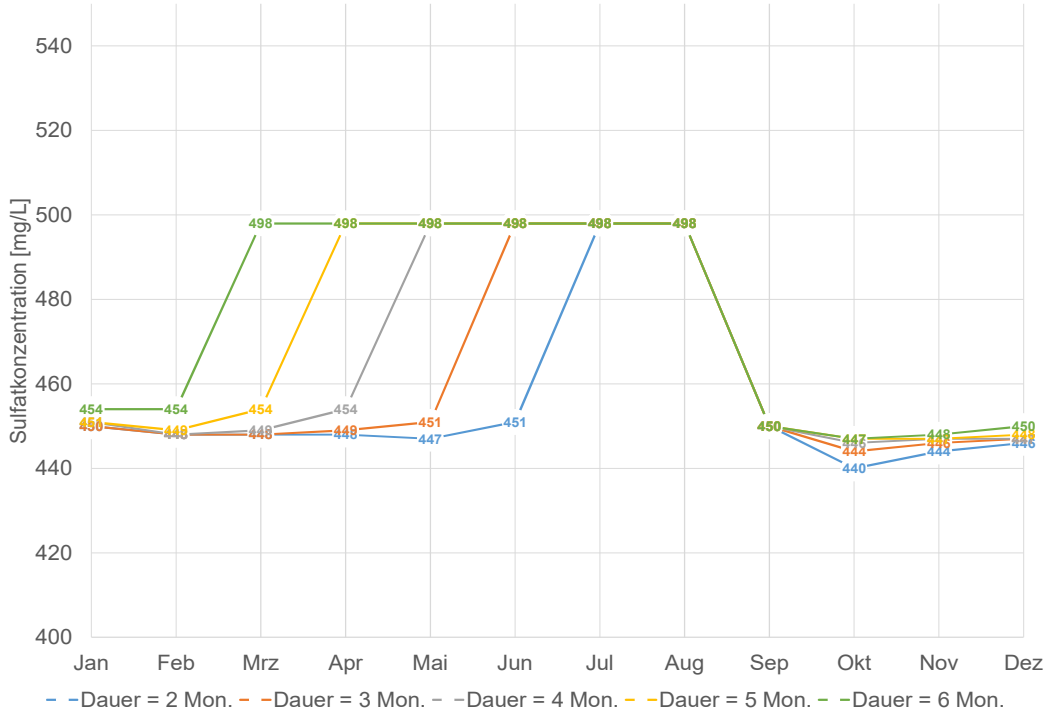


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Bräsinchen

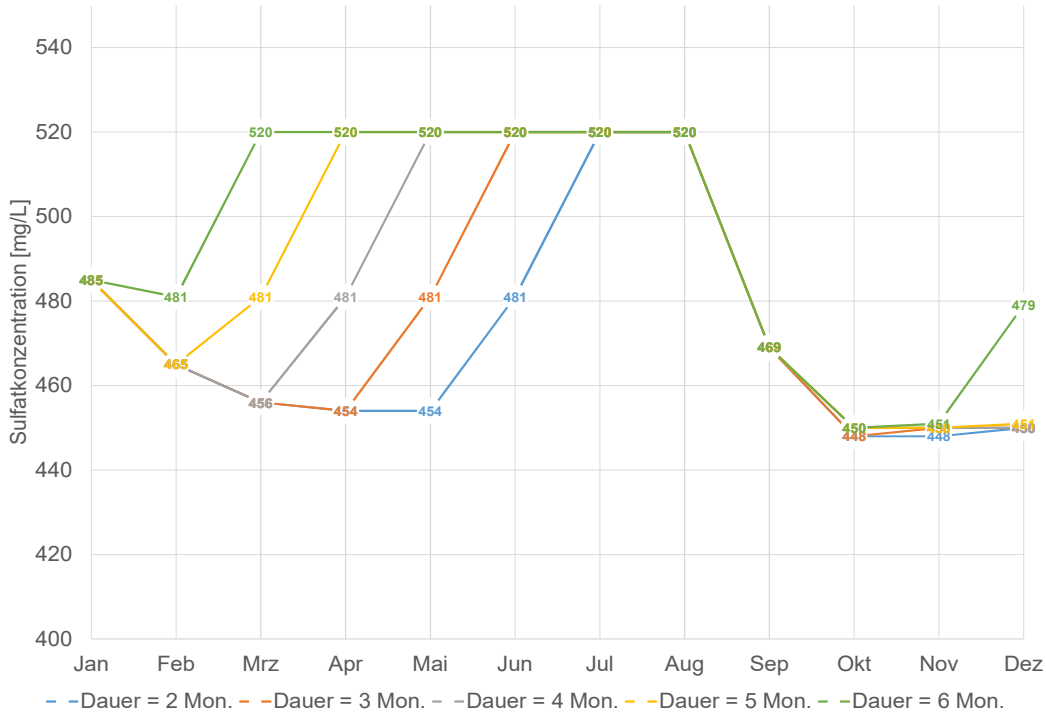


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

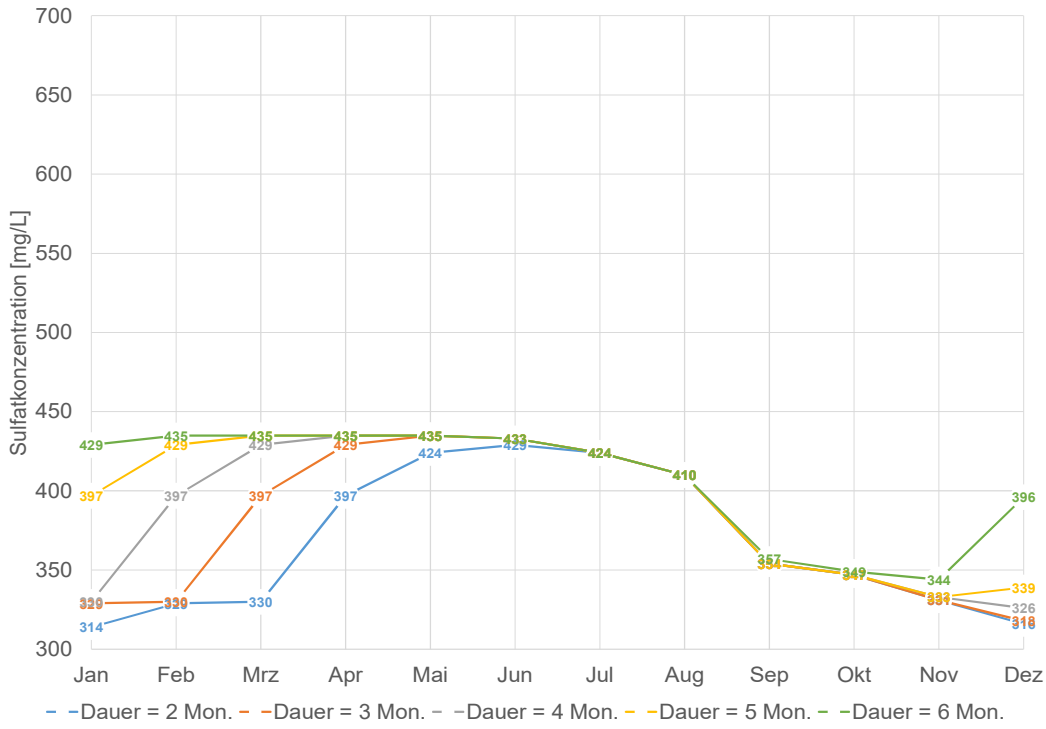


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Bräsinchen

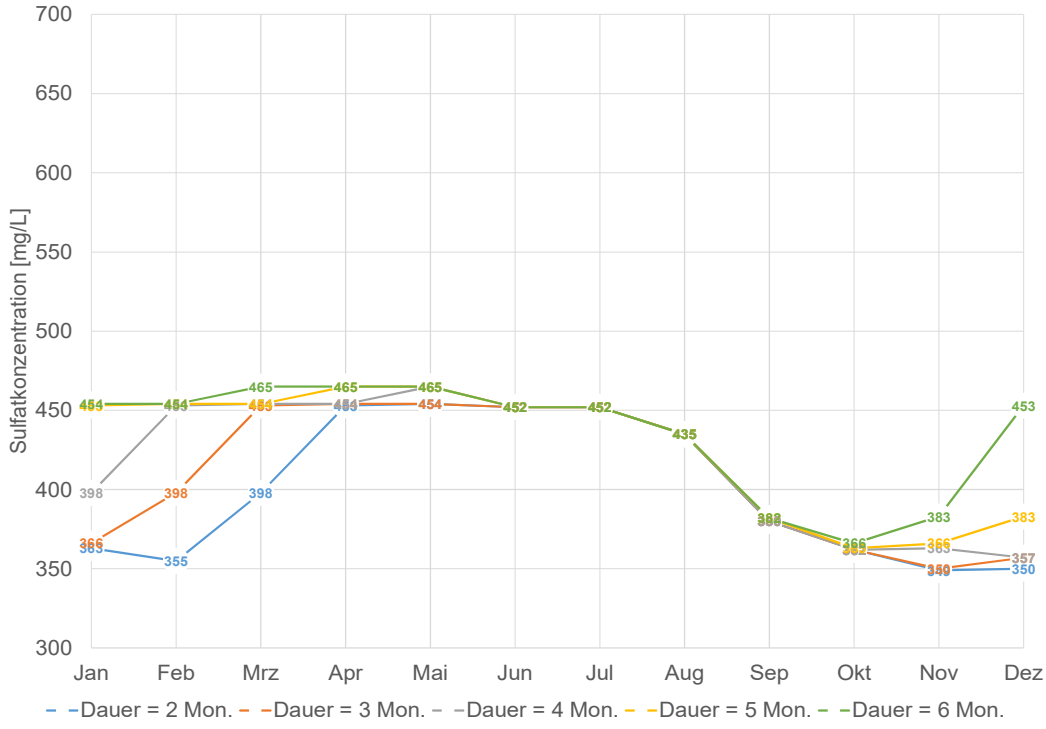


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

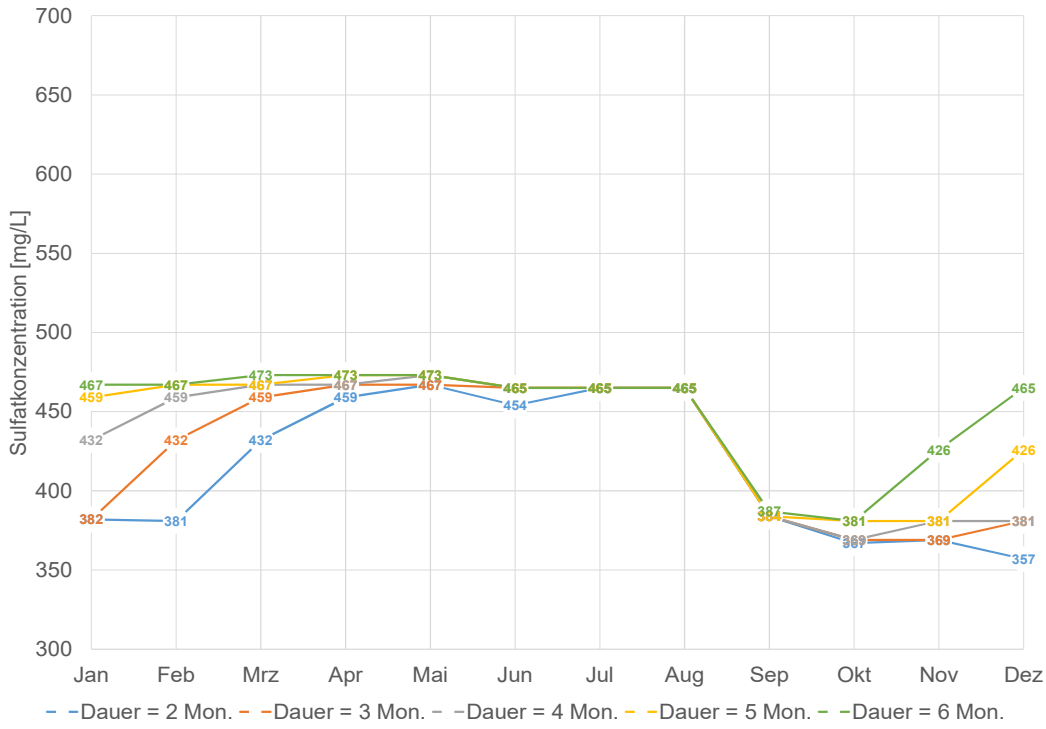


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Leibsch UP

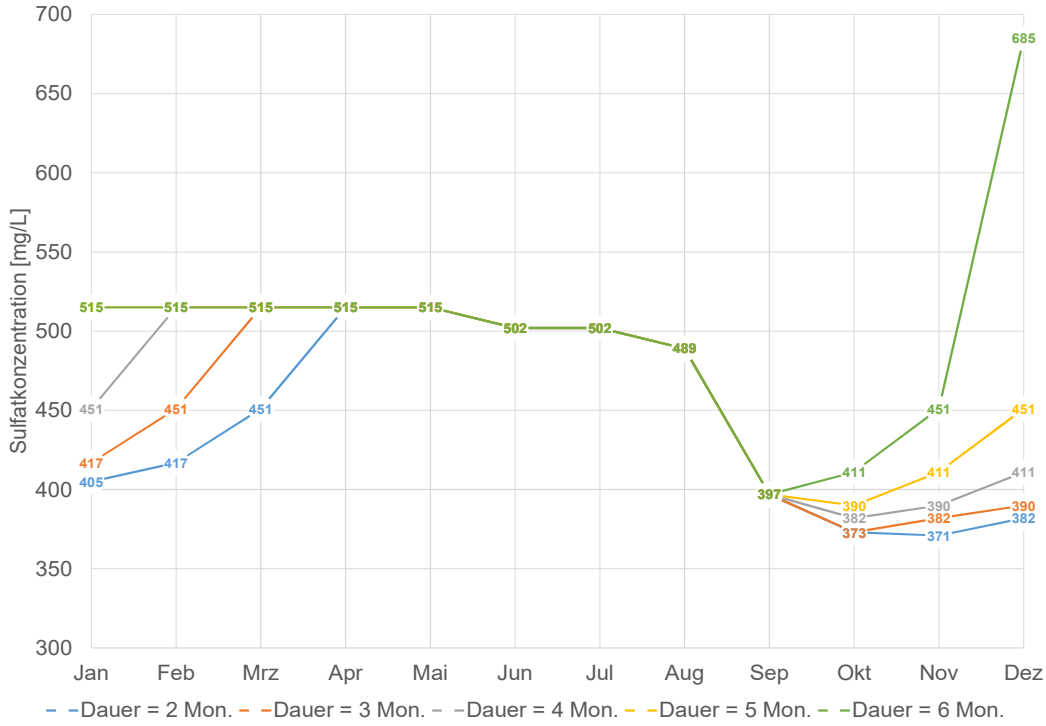


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

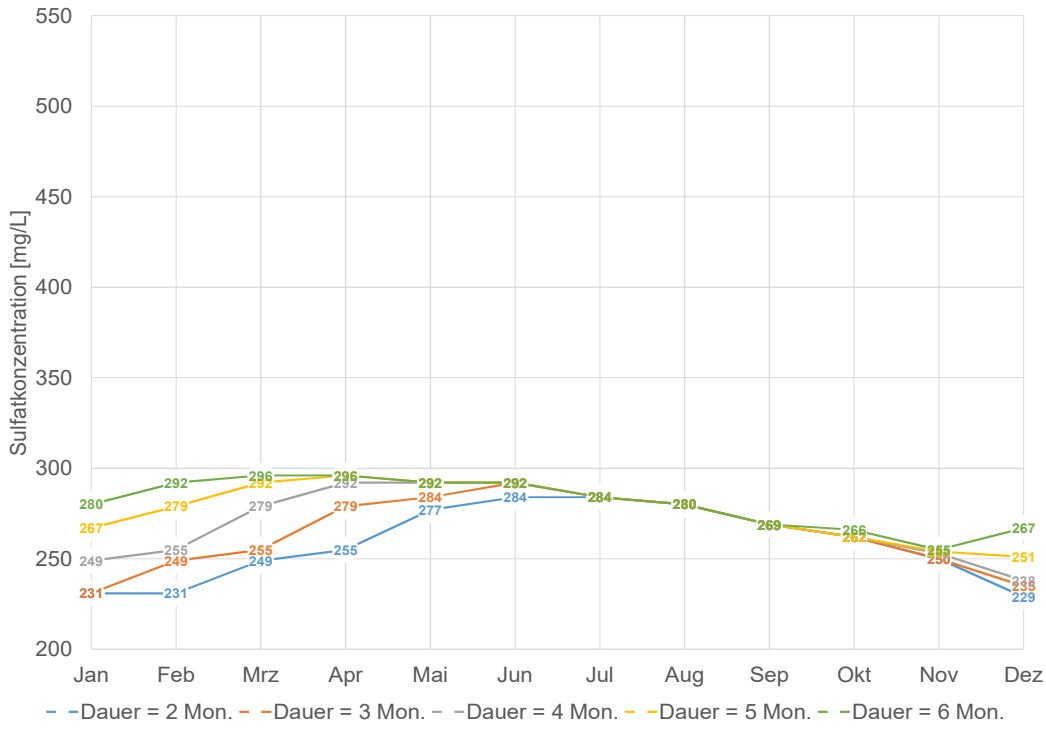


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Leibsch UP

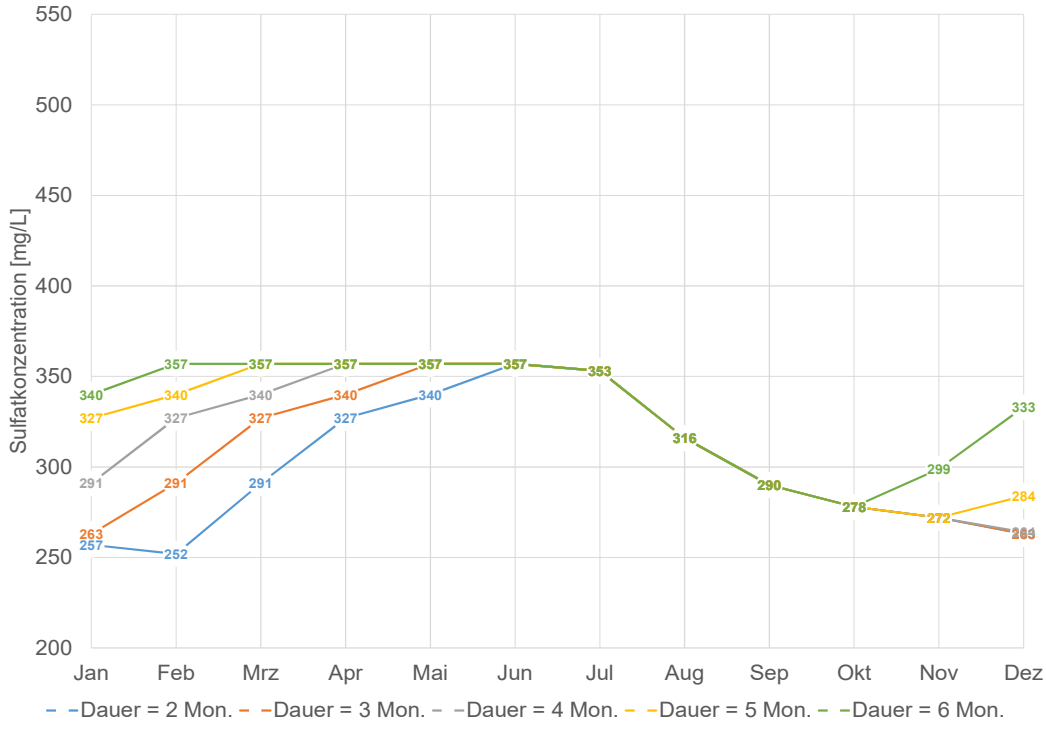


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

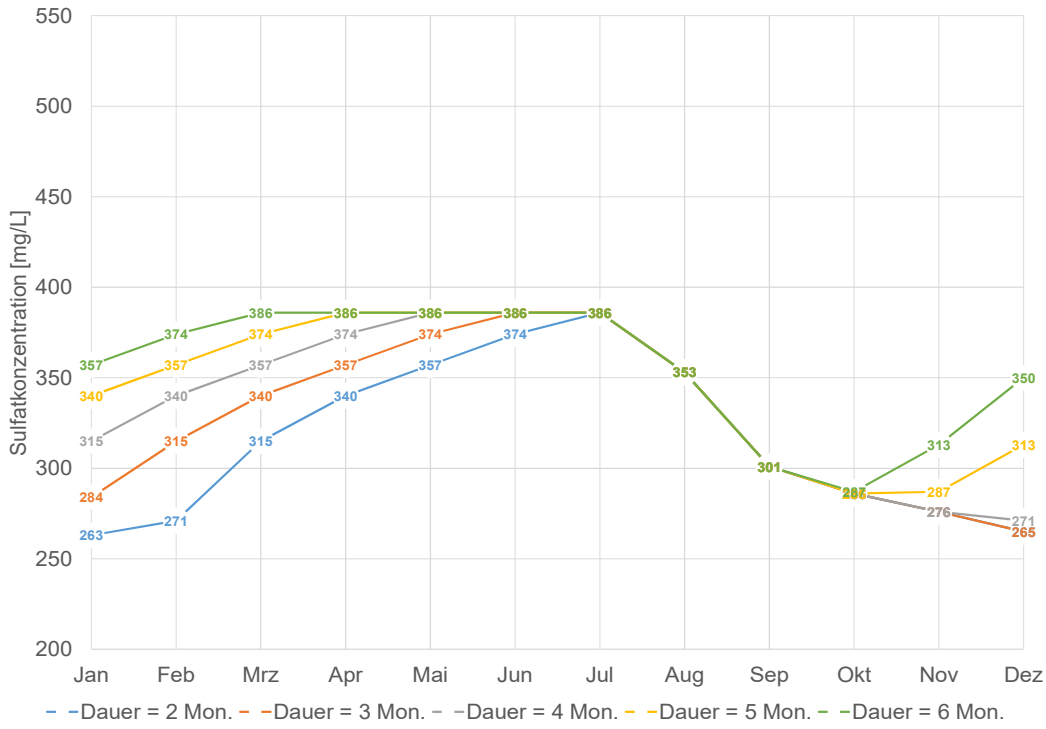


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Briesen

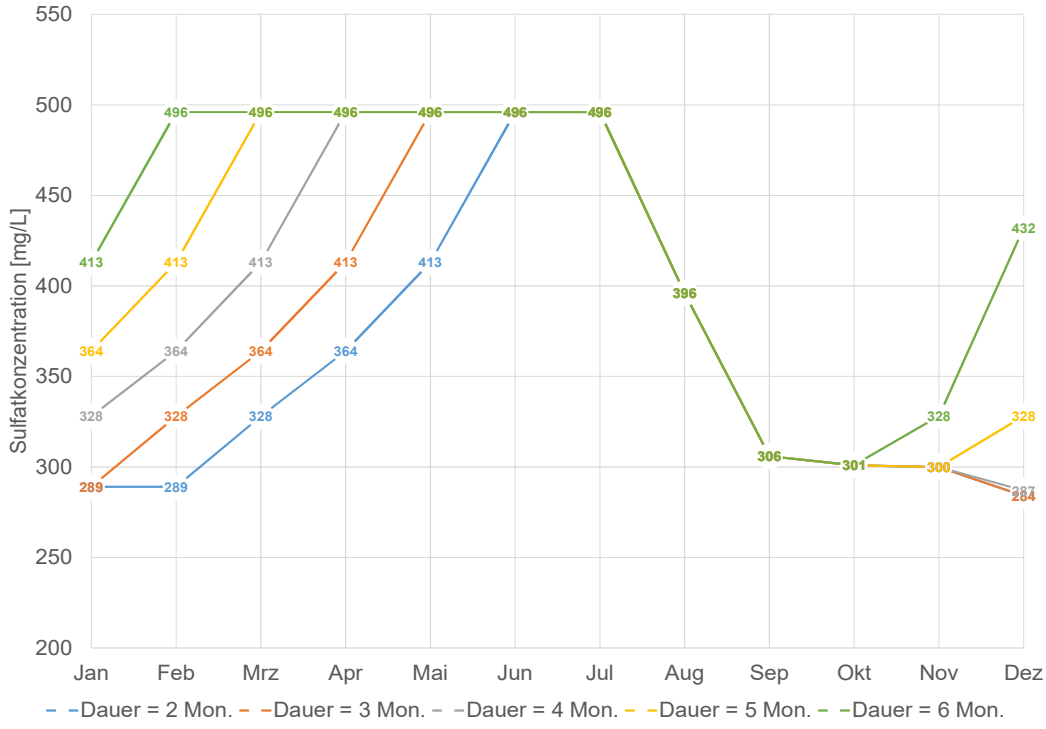


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

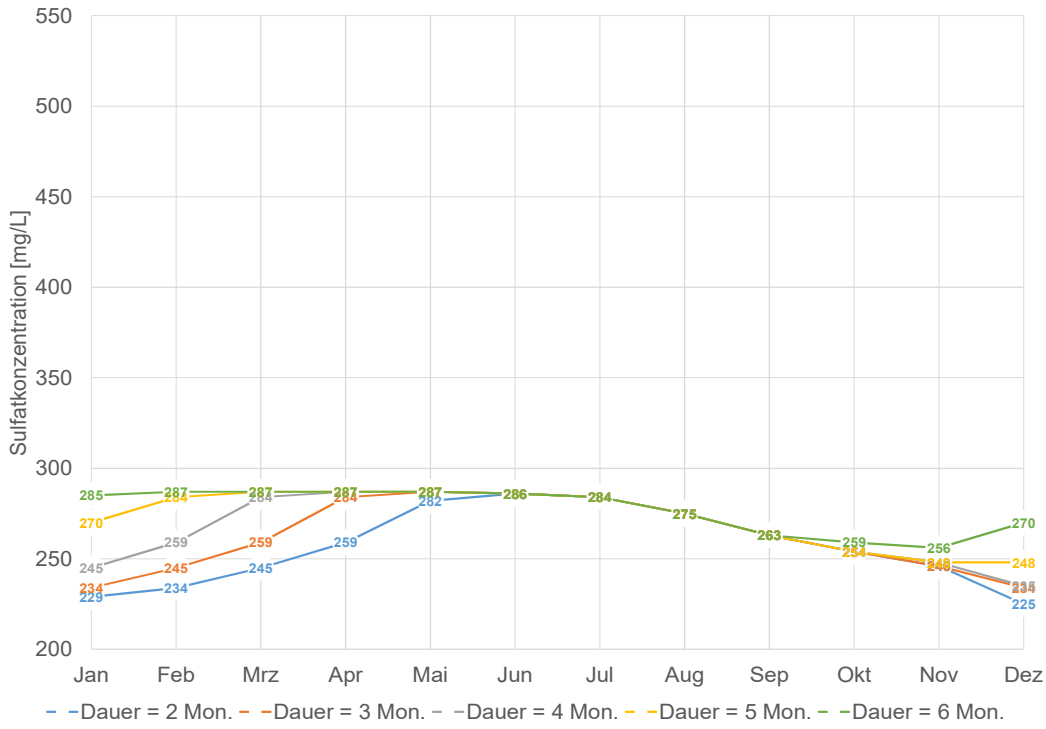


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Briesen

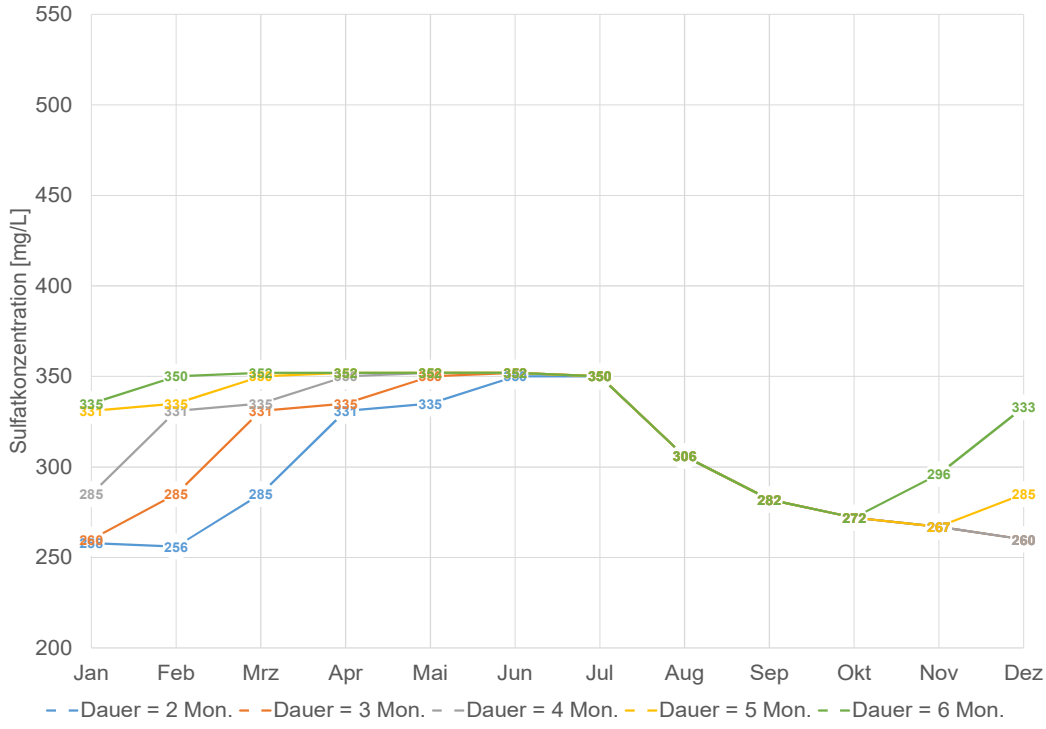


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

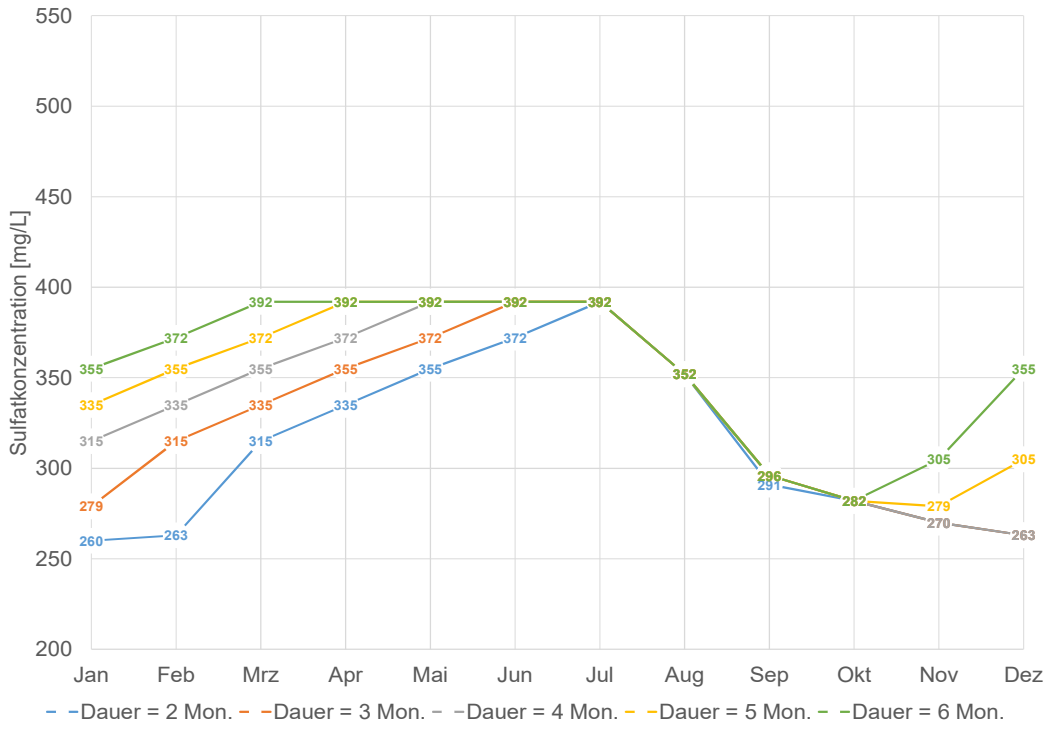


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Große Tränke OP

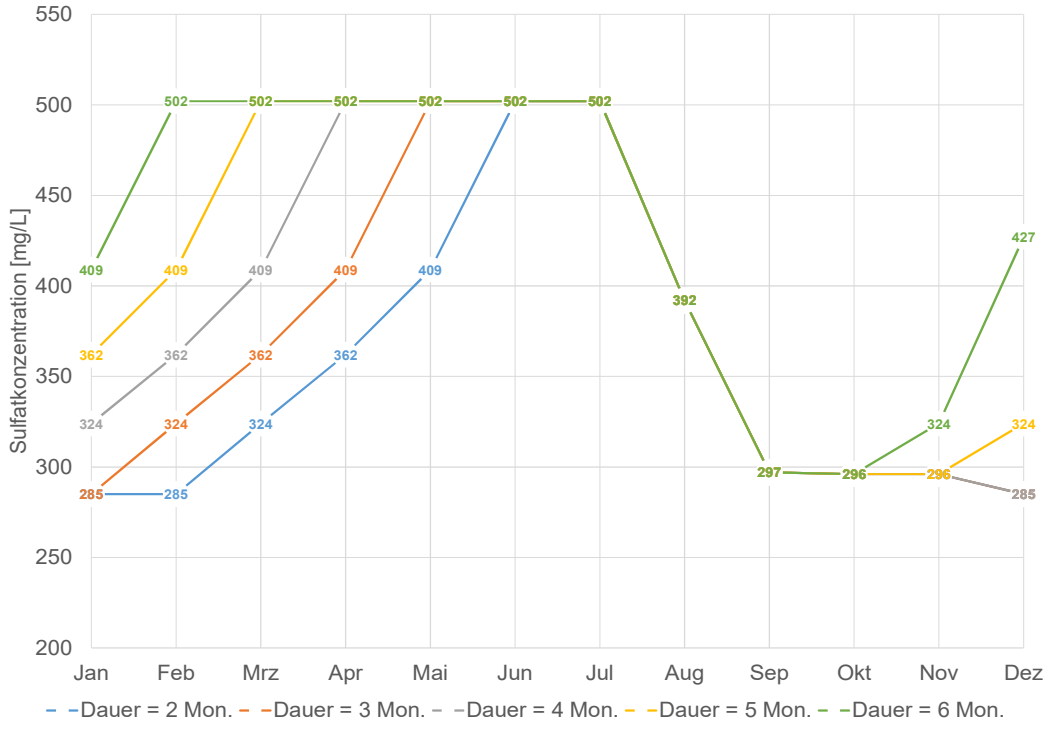


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

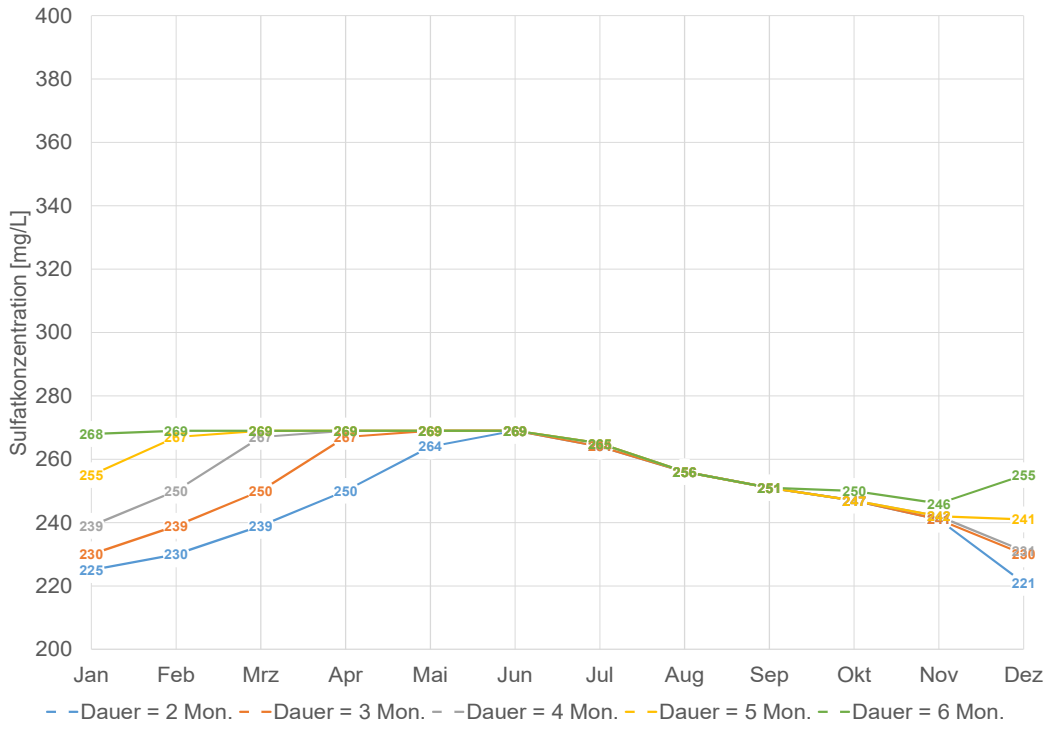


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Große Tränke OP

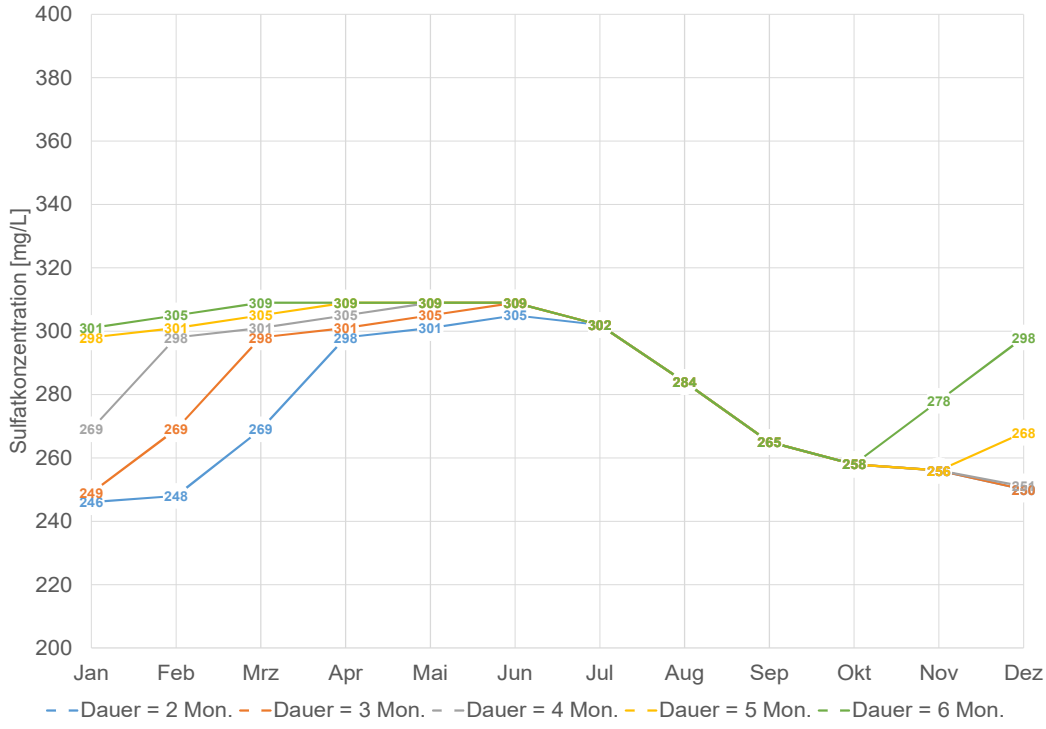


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

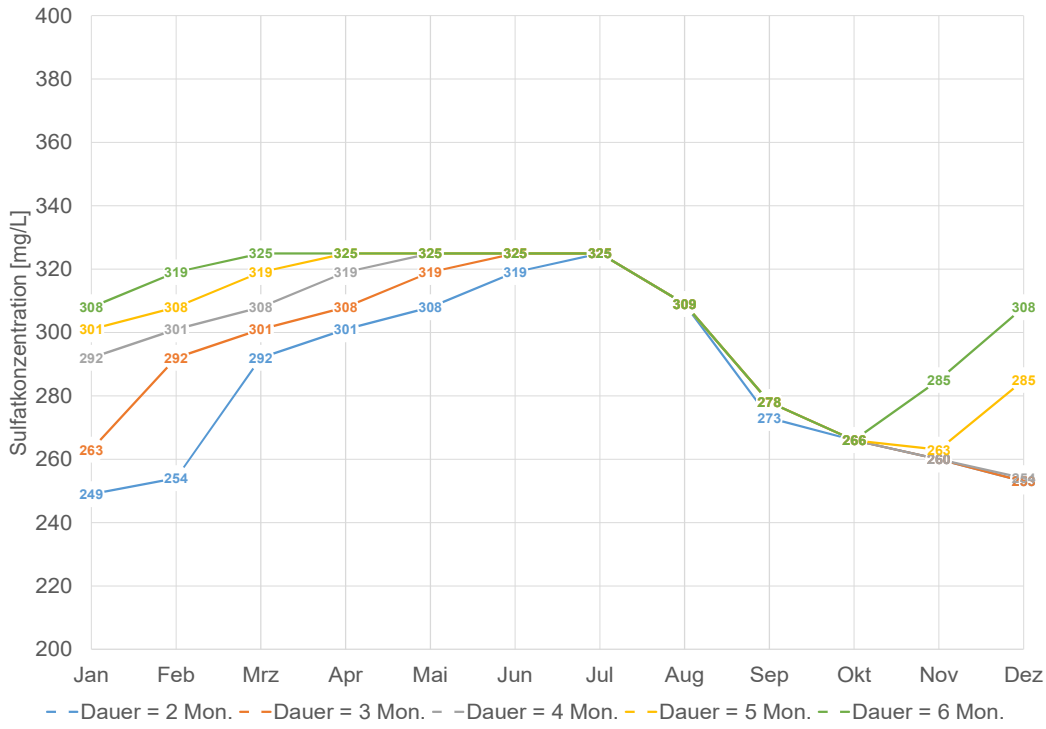


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Rahnsdorf

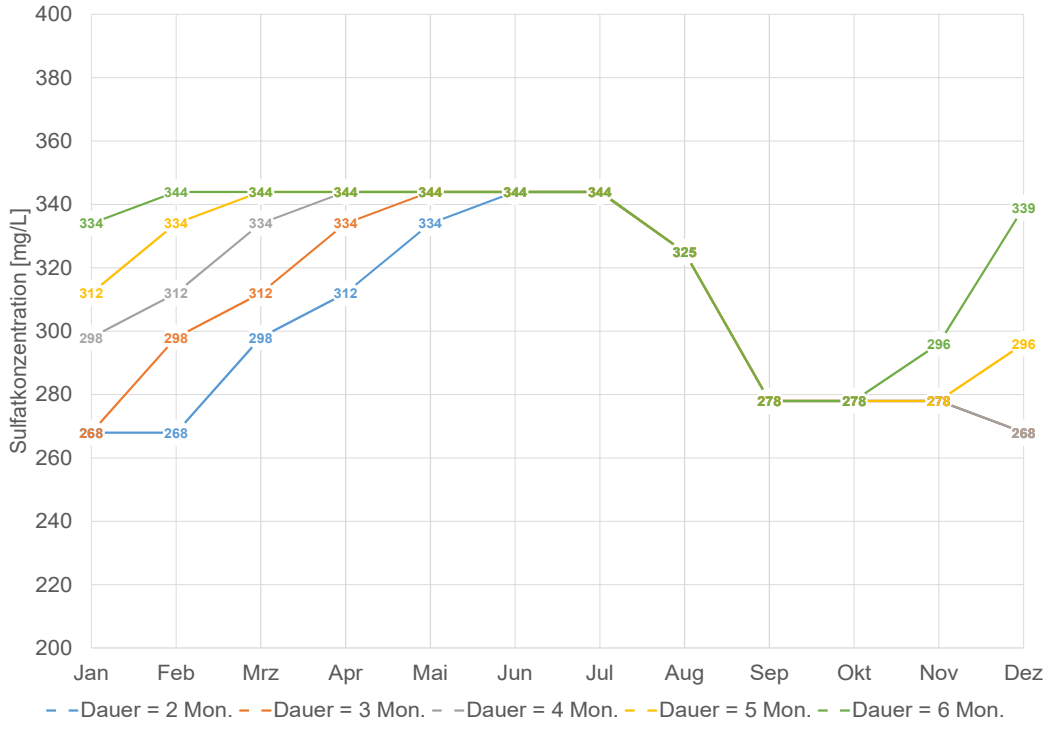


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

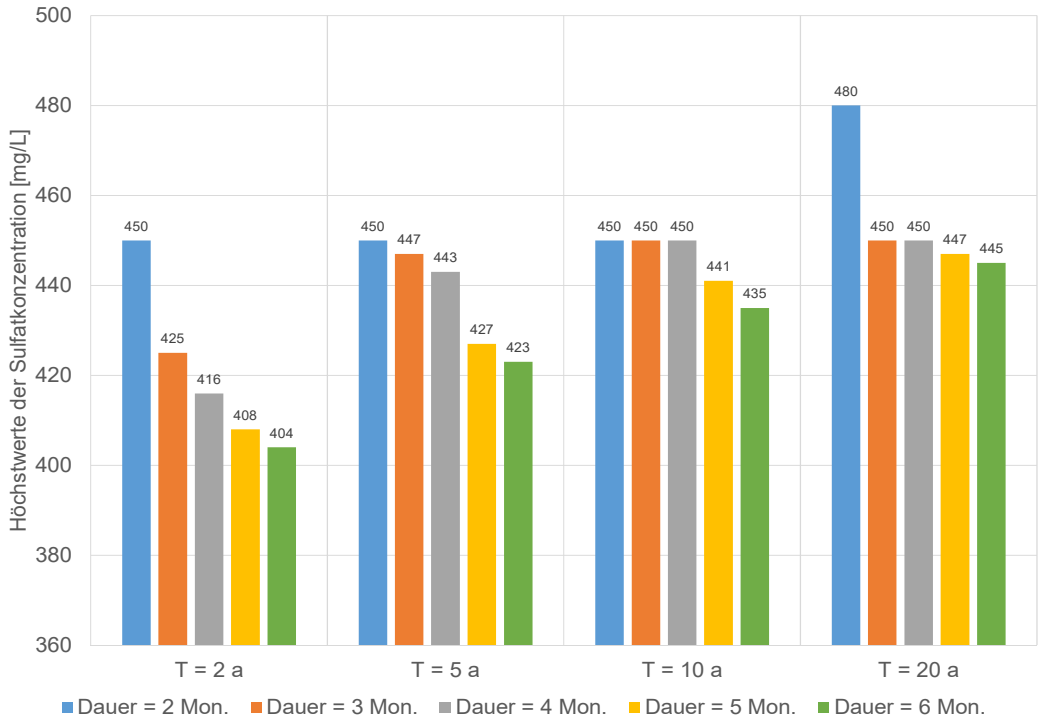


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Rahnsdorf

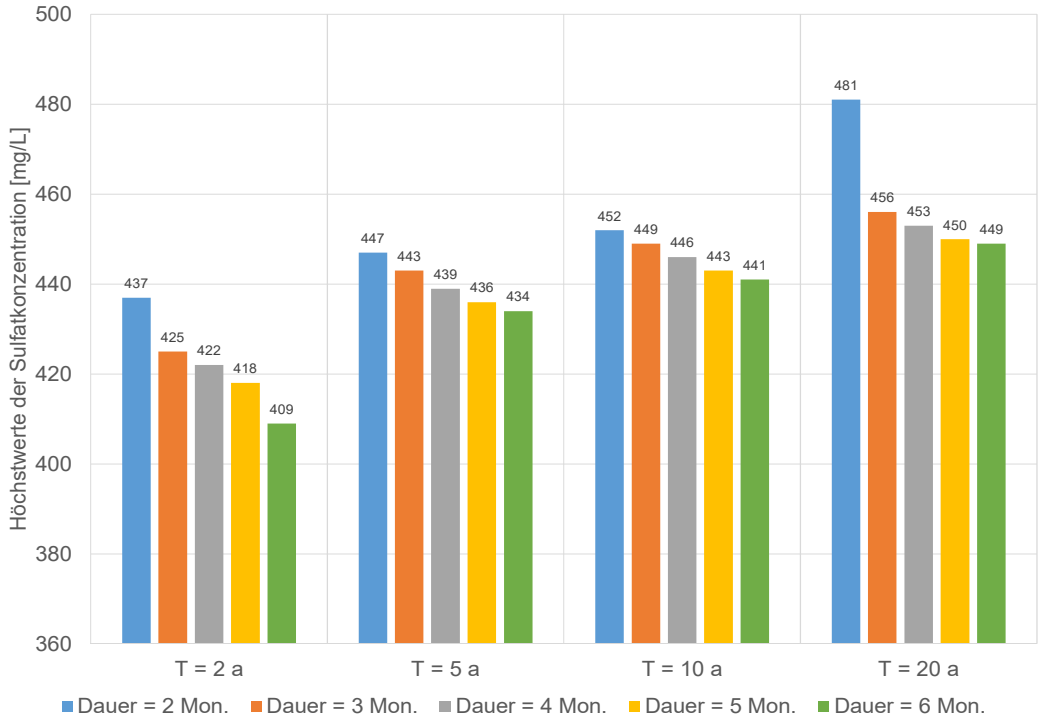


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstelle Rahnsdorf

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

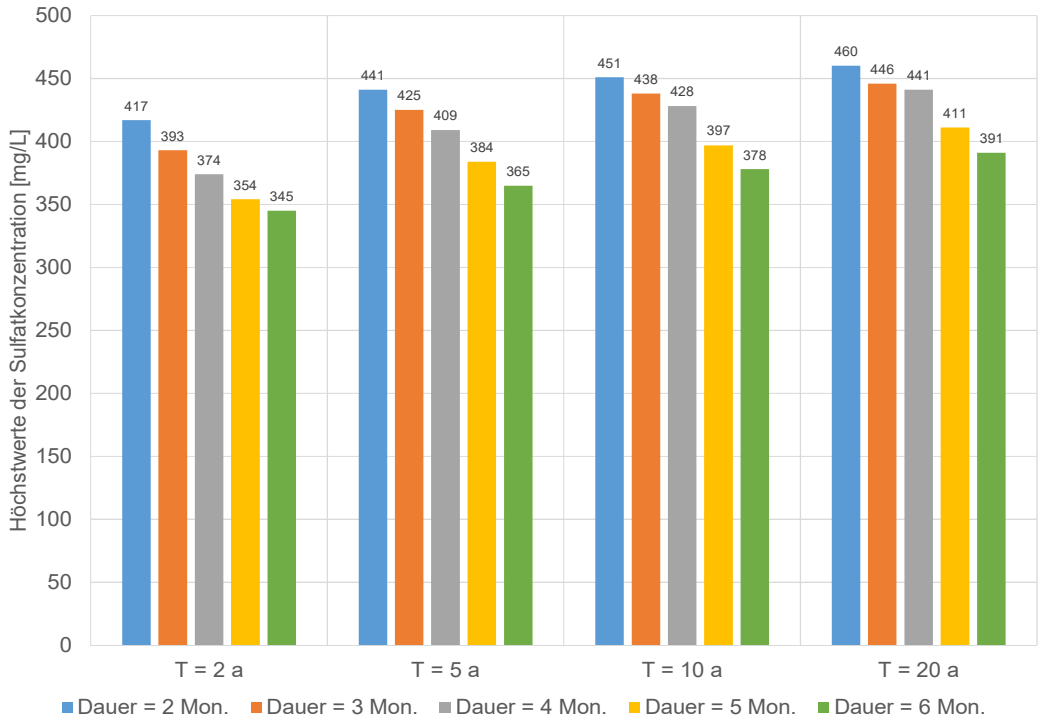


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

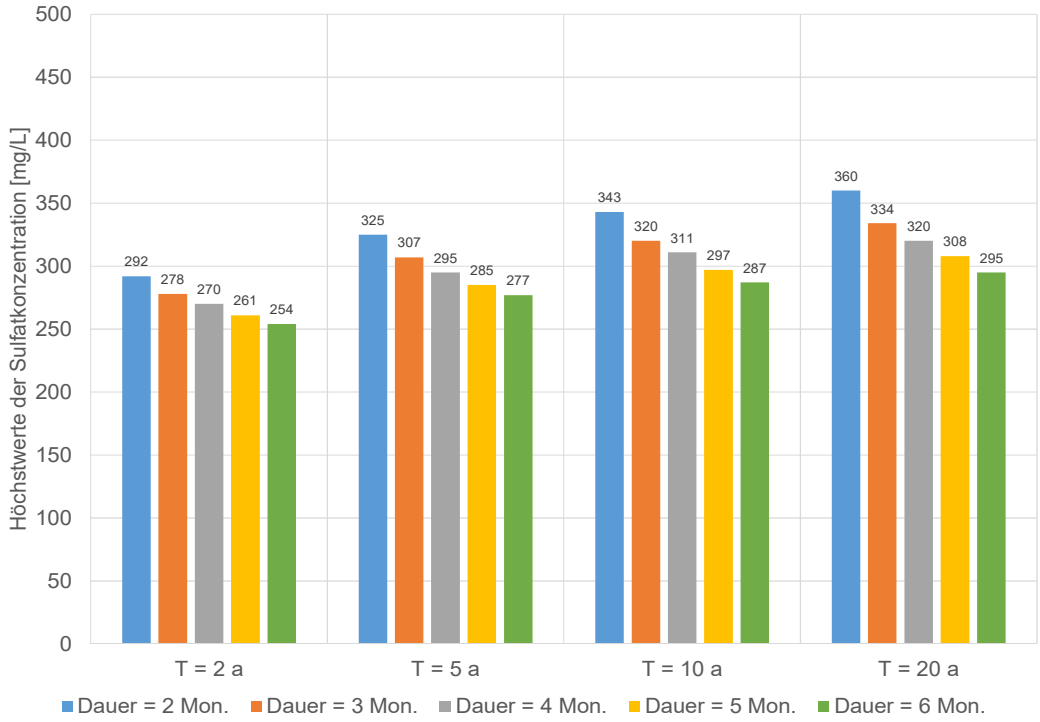


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Bräsinchen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)

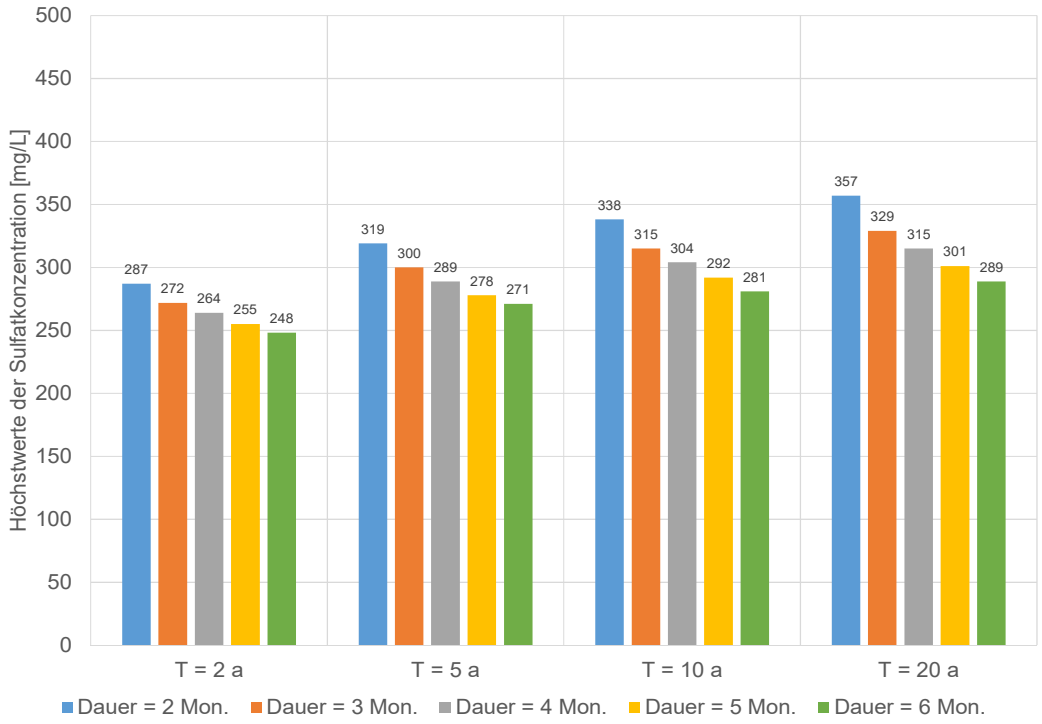


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Leibsch UP

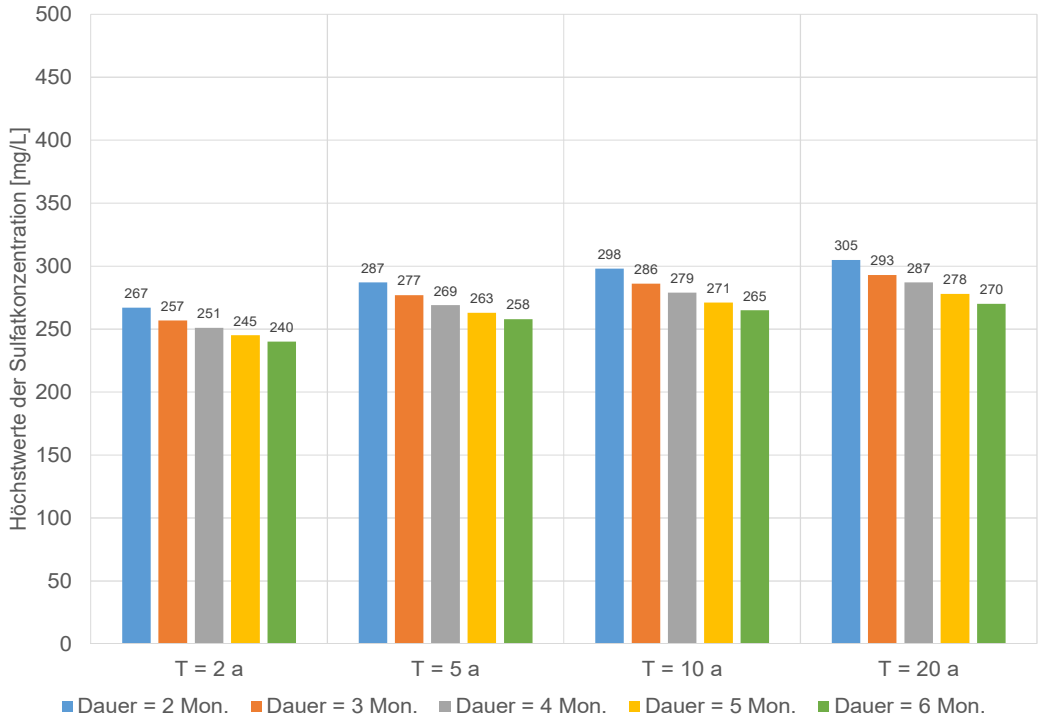


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Briesen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 4)



Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Große Tränke OP



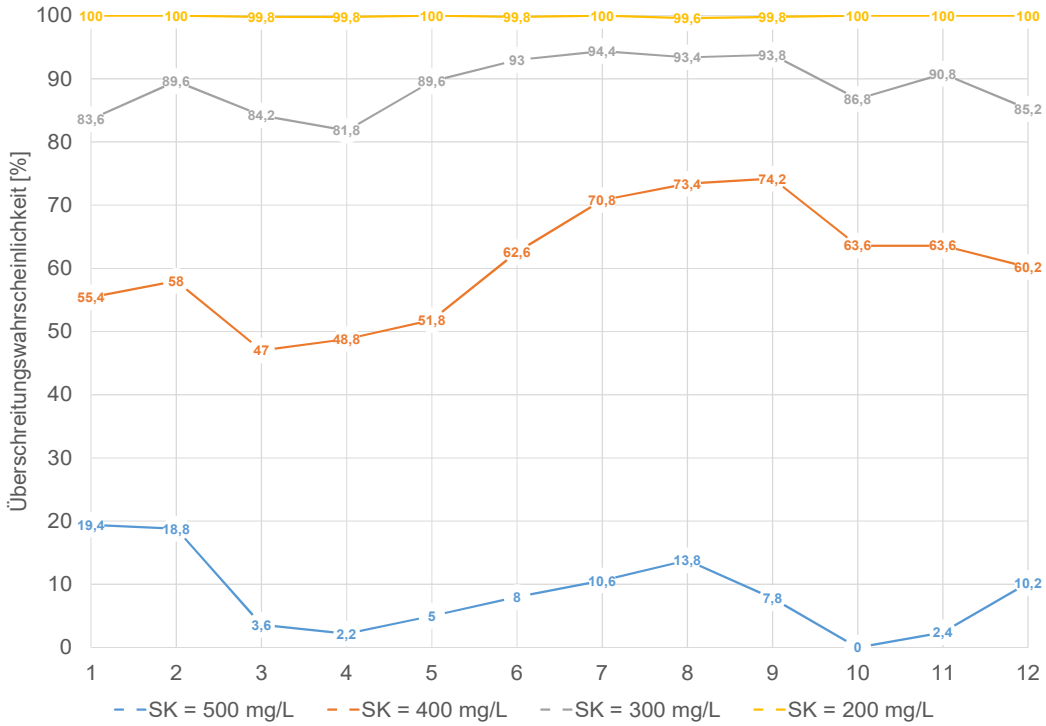
Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Rahnsdorf

ANHANG 3.4

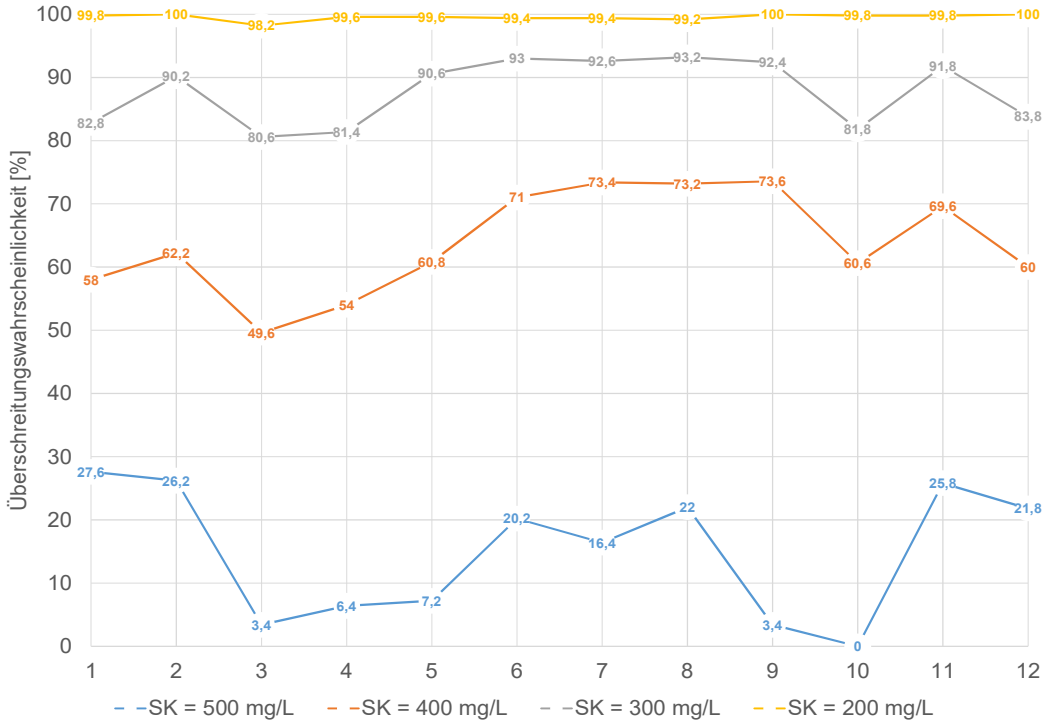
Auswertung Szenario 5

© DHI-WASY – 14803857_Sulfatprognosemodell/

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

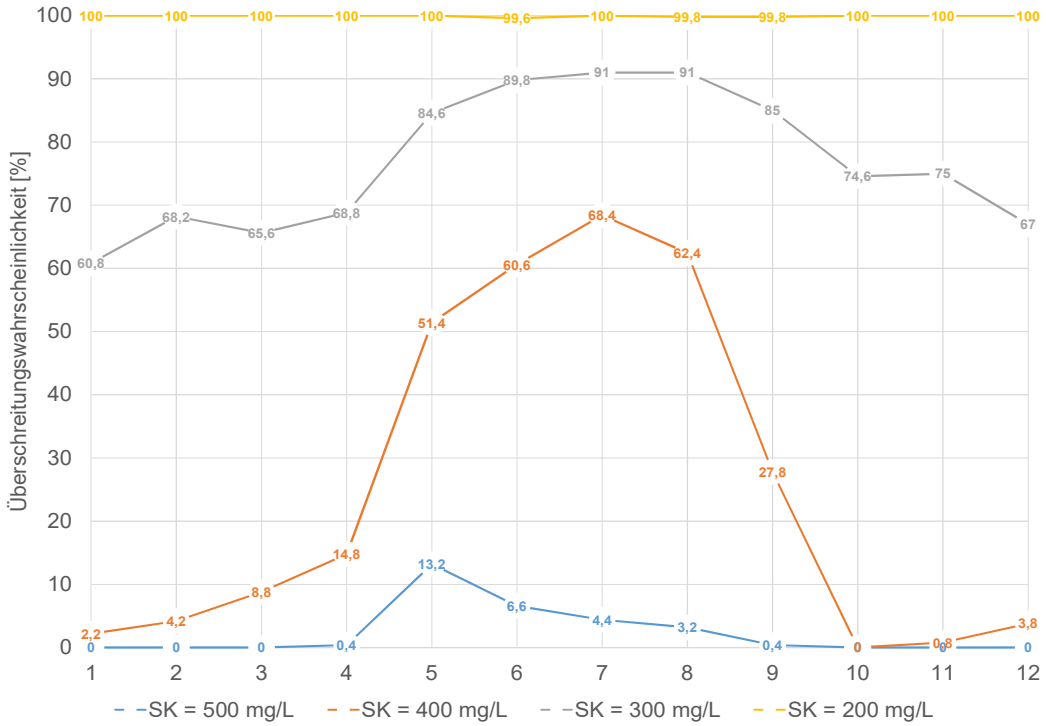


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

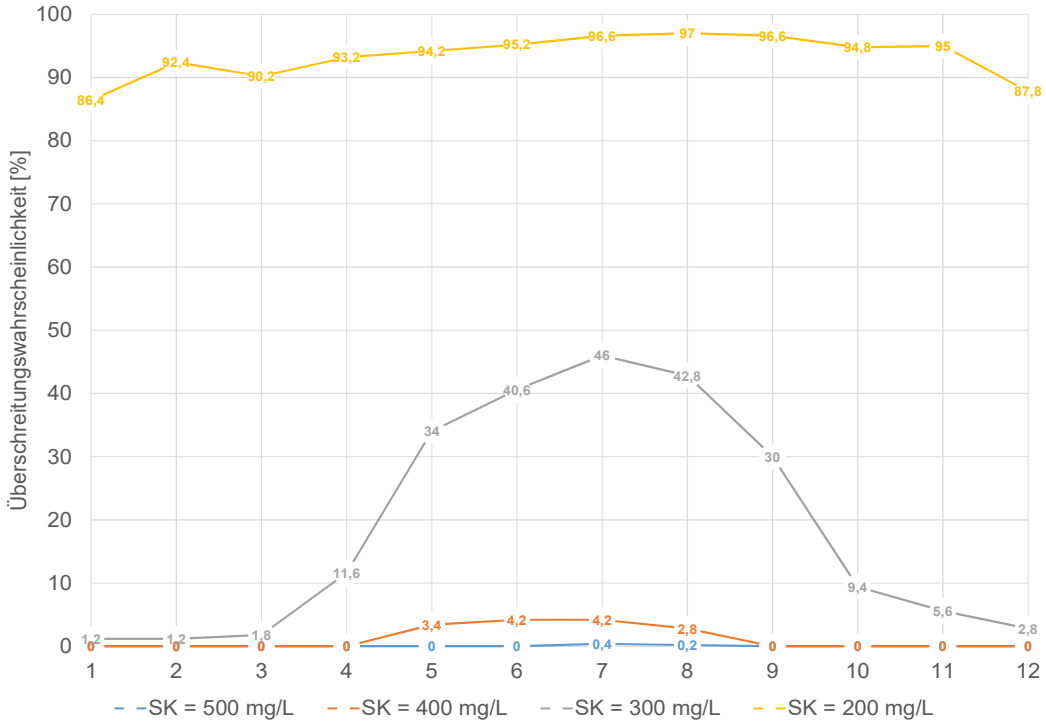


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Bräsinchen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

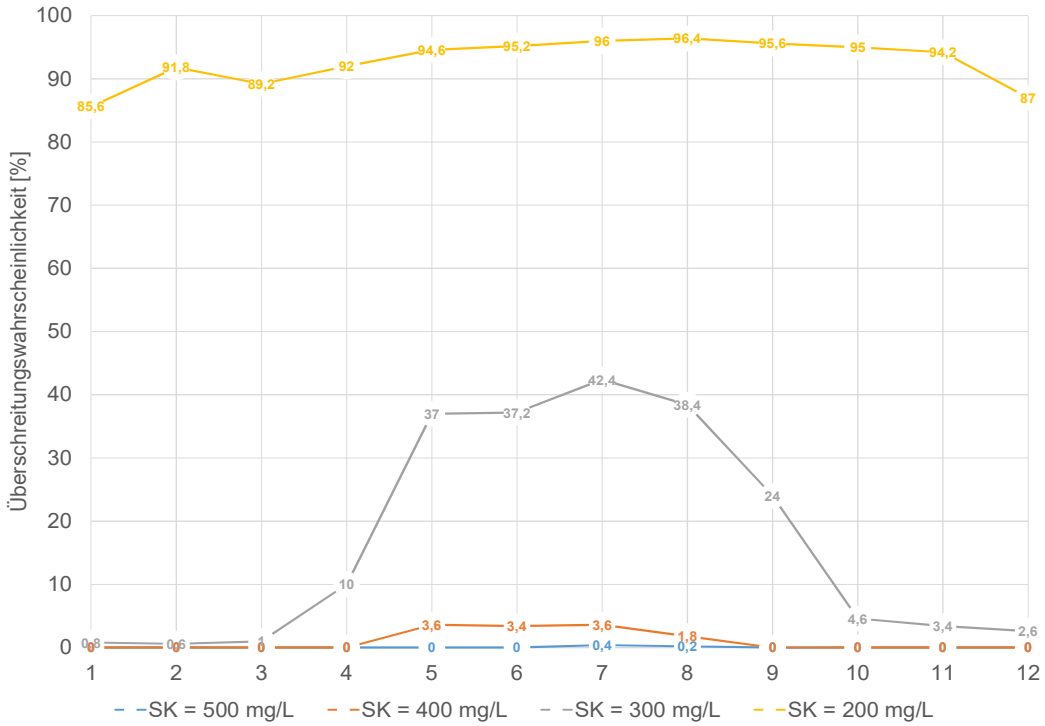


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Leibsch UP

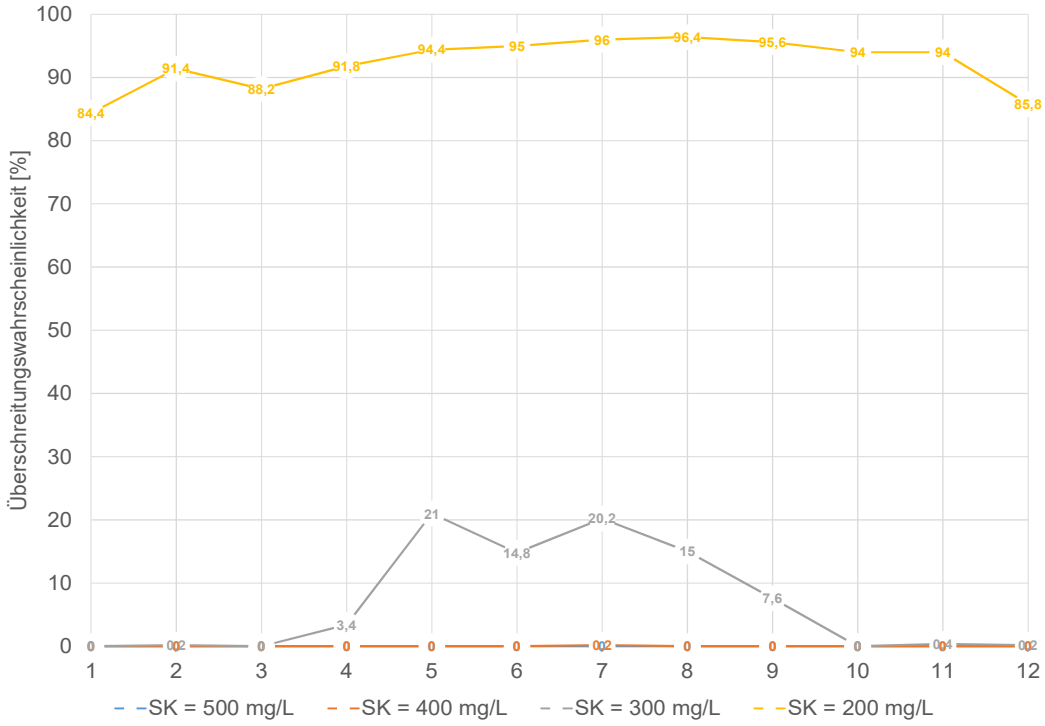


Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Briesen

Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Große Tränke OP



Überschreitungswahrscheinlichkeit der Sulfatkonzentrationen für Schwellenwerte an der Messstelle Rahnsdorf

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	1,2	5,2	1,8	6,8	3,8	8,4	4	9,2	7,4	0,2	11,8	2,4
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	5,4	1,2	1,2	0,8	1,4	2,2	3,6	8	0,2	0,2	4	0,8
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	1,2	0,4	0	1	0,2	3	5,2	0	0,8	0,4	2	1,2
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0,2	0,2	0,6	0,2	1	5,2	0,2	0,6	0,2	0,2	7	0,2
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,4	0	0,8	2	0	0,2	0	0	0,4	2,8	0,6
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0,2	0	0	1,8	0	0,4	0	0	0,2	0,2	4,2	0
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0	0	0	0	0	0,4	0,2	1	0	0	1,6	0
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0,2	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	1,4	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0	0	0	0	0	0,2	0	0,2	0	0	0,4	0
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0,2	0	0	0,4	0,2	0	0	0,6	0,6
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0	0,2	0	0	0	0	2,2	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0,6	0	0	0,4	0,2	1,2	0	0,2	0	0	1,8	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Bräsinchen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 450 mg/L	1	2018-2022	1	1,8	0,2	0,4	0,8	2,6	1,8	4,8	2	0,2	4,2	1,4
SK = 450 mg/L	2	2018-2022	3,8	0,8	0,4	0,2	0	1	2	2,6	0	0	1	0,2
SK = 450 mg/L	3	2018-2022	0,6	0,4	0	0,4	0,2	1,2	0,2	0,6	0,4	0	0,6	0,8
SK = 450 mg/L	4	2018-2022	0,4	0	0,6	0,2	0	1,6	0,2	1,8	0,2	0	2,4	0,2
SK = 450 mg/L	5	2018-2022	0	0,2	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0,4	0	1,6	0
SK = 450 mg/L	6	2018-2022	0,2	0	0	0,6	0,2	1	0,8	0,2	0,4	0	0,8	0,2
SK = 450 mg/L	7	2018-2022	0,2	0	0	0,2	0,2	0,2	0	1,2	0,2	0	0,8	0
SK = 450 mg/L	8	2018-2022	0	0	0	0	0,2	0,2	0,4	0,4	0,4	0	0,2	0
SK = 450 mg/L	9	2018-2022	0	0,2	0,2	0	0,2	0,8	0,4	1,2	0,2	0	0	0,2
SK = 450 mg/L	10	2018-2022	0	0	0	0	0,2	0,8	1,4	0,8	0	0	0	0
SK = 450 mg/L	11	2018-2022	0	0	0	0	0,2	0,4	0,2	0,6	0	0	0,2	0
SK = 450 mg/L	12	2018-2022	0,6	0,2	0,2	0,2	0,2	1,8	1,8	2,4	0,4	0	1,2	0,6

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Leibsch UP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 300 mg/L	1	2018-2022	0	3,4	0,8	0,8	1,2	0,8	1,2	1,2	0,6	0,2	3	1,2
SK = 300 mg/L	2	2018-2022	0,8	1,4	0,6	0,2	2	0,4	1,2	0,8	0	0,2	1	0,2
SK = 300 mg/L	3	2018-2022	0,2	0,8	0,2	0,4	0,6	0,4	1,8	0,2	0,4	0	0	0,4
SK = 300 mg/L	4	2018-2022	0	0,4	0,8	0	1,4	1,6	0,8	0,2	0,2	0	0,2	0
SK = 300 mg/L	5	2018-2022	0,4	0	0	0	2,6	0	0,8	0	0	0	0,2	0
SK = 300 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0,6	0,4	0,8	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	7	2018-2022	0	0	0,8	0,6	1,4	0,4	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	8	2018-2022	0	0,6	0	0,8	0,8	0	0,2	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	9	2018-2022	0	0,2	0,2	0,6	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	10	2018-2022	0,2	0,2	0,2	0,2	1,8	0,6	0,2	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	11	2018-2022	0,2	0,6	0,2	0,4	0,4	0	0	0	0	0	0	0
SK = 300 mg/L	12	2018-2022	0,6	2,2	4,8	3,8	6,4	3,2	0,6	0	0,4	0,4	1,4	0,8

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Briesen

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 280 mg/L	1	2018-2022	0,8	2,6	0,6	2,6	7	4,6	5,8	2	1,6	1,8	1,8	1,2
SK = 280 mg/L	2	2018-2022	0	0	0,4	1,2	3,4	1	3,6	2	1,2	1,2	0,6	0,2
SK = 280 mg/L	3	2018-2022	0	0	0	2,2	1,2	2,6	2,8	0,4	1,4	0,4	0	0,2
SK = 280 mg/L	4	2018-2022	0	0	0,8	0,8	3,2	2	1,8	1,4	0,6	0	0	0
SK = 280 mg/L	5	2018-2022	0	0,4	0,4	1,8	1,8	3,2	2	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,2	1	3,4	2,4	1	0,2	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	0,2	2,6	2,6	0,4	0,2	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	8	2018-2022	0	0	1,2	2	1,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	9	2018-2022	0	0,2	1	2,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	10	2018-2022	0	0,2	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0	0	0
SK = 280 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,2	0,2	0	0	0	0,2	0,2	0	0	0
SK = 280 mg/L	12	2018-2022	0	0	0	0,2	0,6	0	0,2	0	0	0,2	0	0

Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

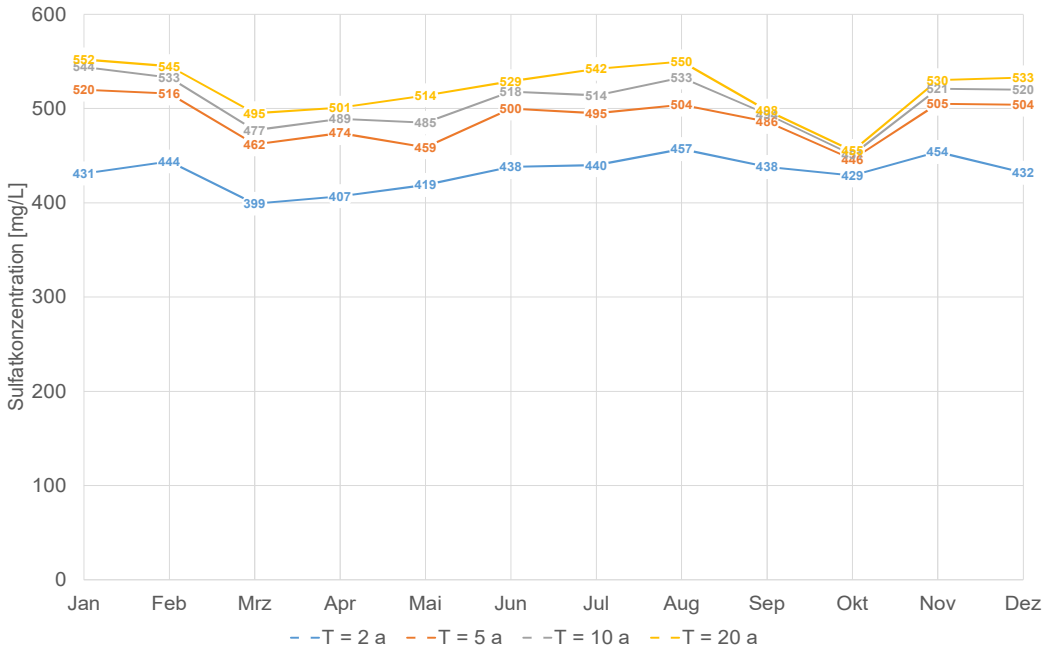
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Große Tränke OP

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,8	3,4	1	1	1	1,2	1,4	1	1	0	2	0,8
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,6	1	0,6	0,4	1,4	0	0,2	0,6	0	1,2	0,8	0
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,2	1,4	0,4	0,8	0,2	0,6	0,4	0	0,4	0,4	0,2	0
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,2	0,6	0,2	1,4	1,2	0,4	1	0	0	0,2	0,2
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,4	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,8	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0	0,4	0,4	0,6	0	0,8	0,2	0,2	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0	0,6	0,6	2,4	0,4	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,8	0,4	1,2	0,4	0	0,4	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0	0	0,2	0,8	0,4	0	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0	0,2	0,2	1,2	1,2	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,6	0,4	1	0,6	0	0	0	0	0,2	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,4	2,6	3,8	3,6	6,6	2	1	0,4	1	0,8	1,6	0,4

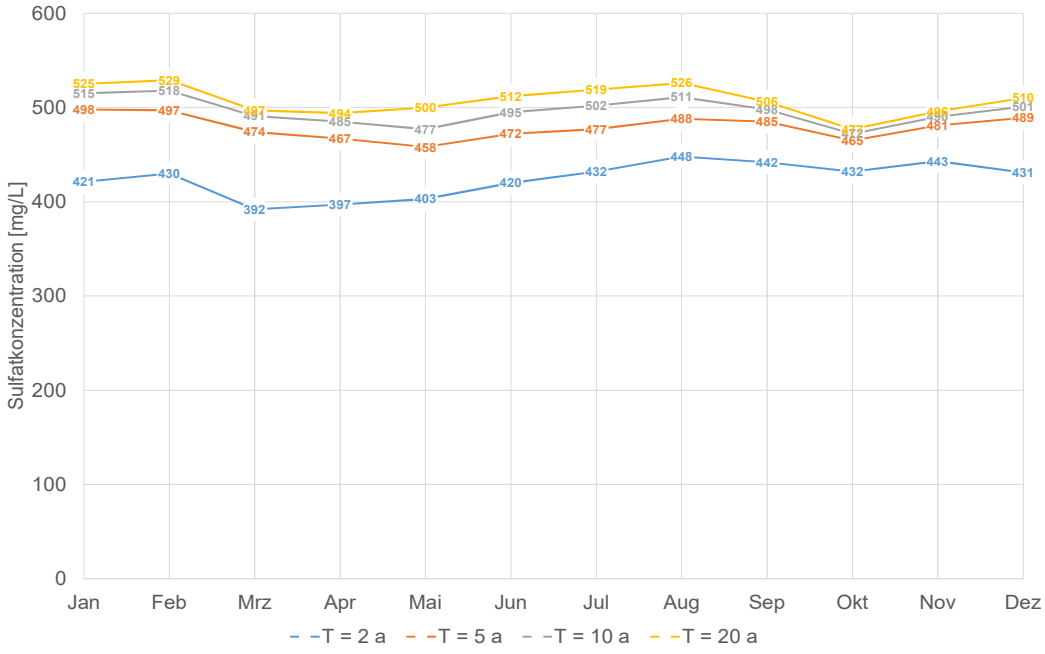
Wahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Sulfatkonzentrationen mit Angabe der Dauer des Ereignisses an den Messstelle Rahnsdorf

Schwellen-wert	Dauer [Monate]	Periode	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
SK = 220 mg/L	1	2018-2022	0,6	2,6	0,8	1,2	2,2	1	1,2	1,4	1,2	0,4	2	0,6
SK = 220 mg/L	2	2018-2022	0,4	1	0,6	0,4	1,4	0,2	0,6	0,2	0	1,4	1,4	0
SK = 220 mg/L	3	2018-2022	0,4	1,2	0,4	1	0,2	0,4	0,8	0,2	0,4	0,2	0	0,2
SK = 220 mg/L	4	2018-2022	0	0,4	0,2	0,2	1,2	1,2	1	0,6	0,4	0	0,4	0,2
SK = 220 mg/L	5	2018-2022	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0	1,4	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	6	2018-2022	0	0,2	0,4	0,8	0,6	0	0,4	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	7	2018-2022	0	0,2	1	1	2	0,8	0,2	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	8	2018-2022	0	0,4	0,2	1	0,4	0,6	0,8	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	9	2018-2022	0,2	0,4	0,4	1,6	0,2	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	10	2018-2022	0,2	0,4	0,4	0,6	1,6	0,2	0	0	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	11	2018-2022	0	0,4	0,4	1	0,6	0,2	0	0,2	0	0	0	0
SK = 220 mg/L	12	2018-2022	0,4	2,2	4,2	4,2	5,4	2,8	1,2	0,4	0,8	0,4	1,4	0,6

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

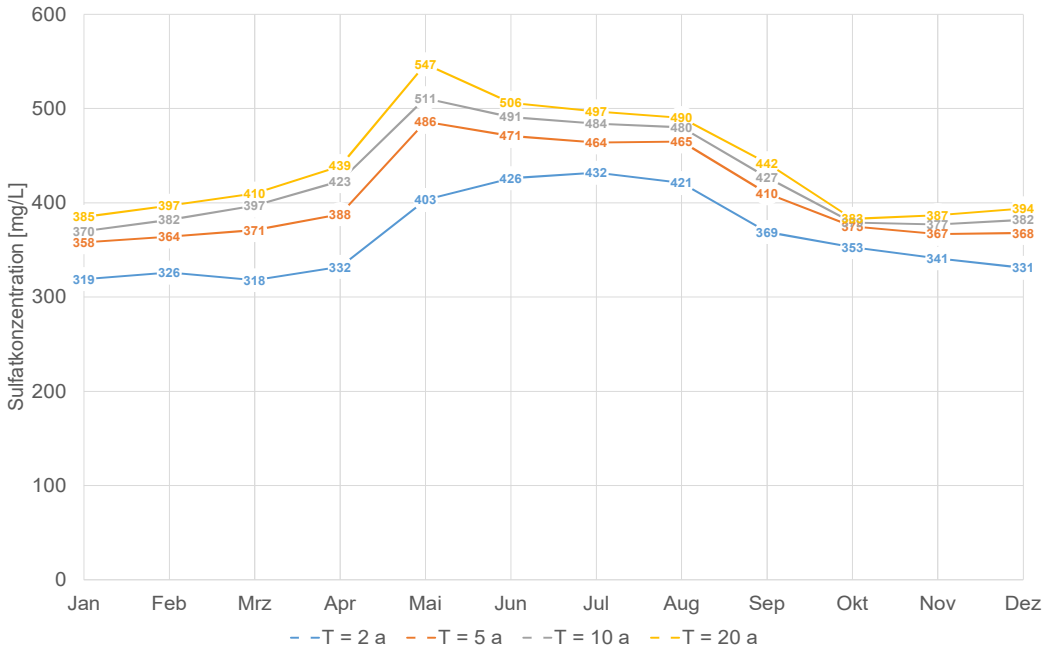


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

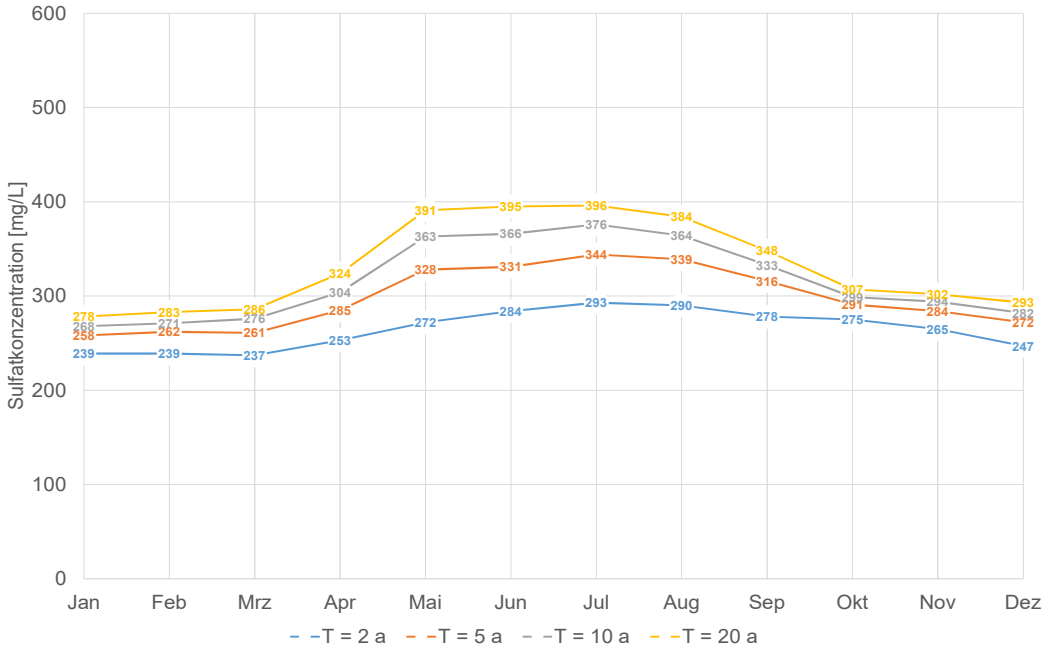


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

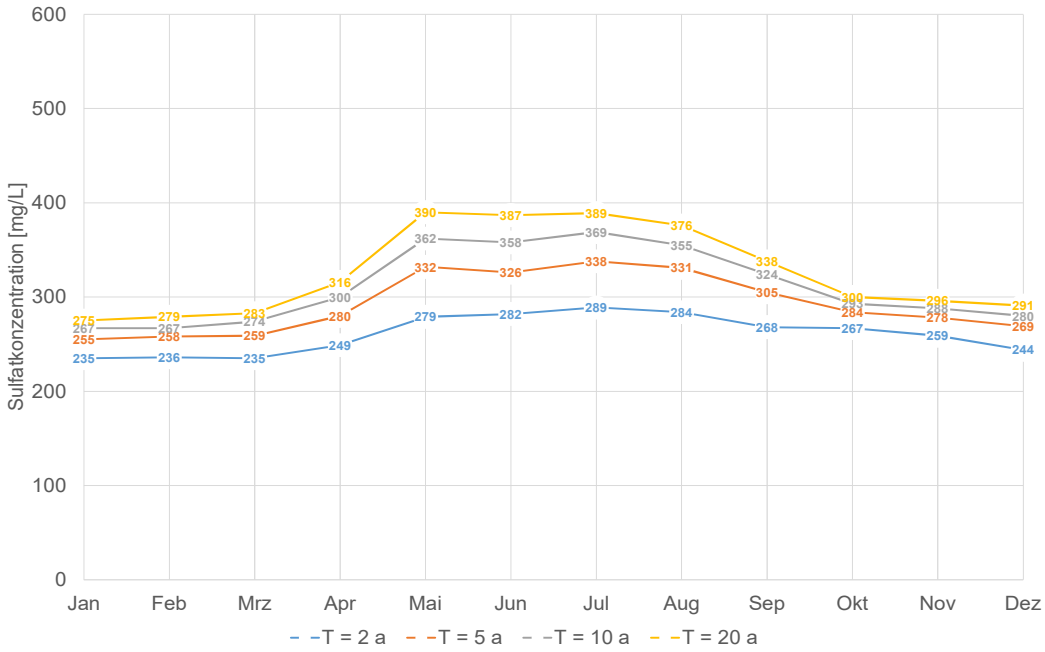


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Leibsch UP

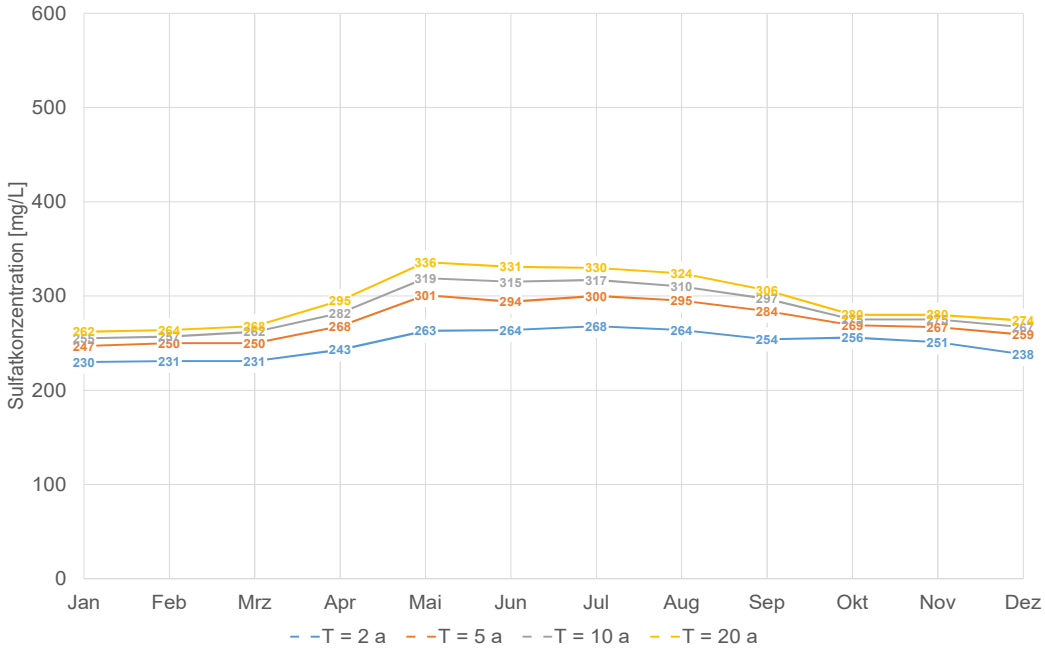


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

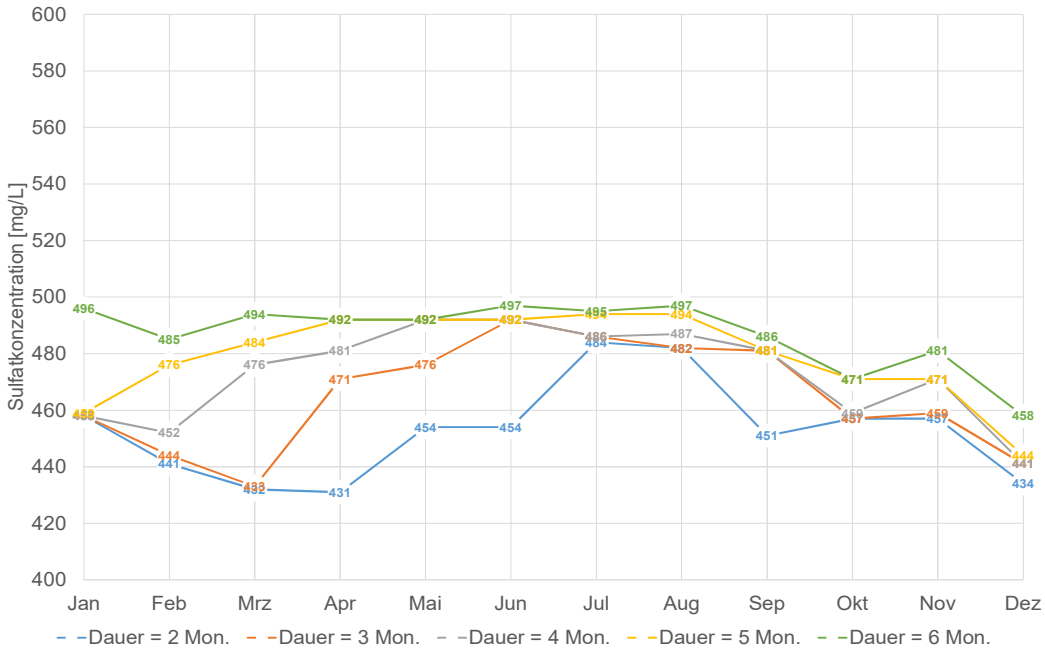


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Große Tränke OP

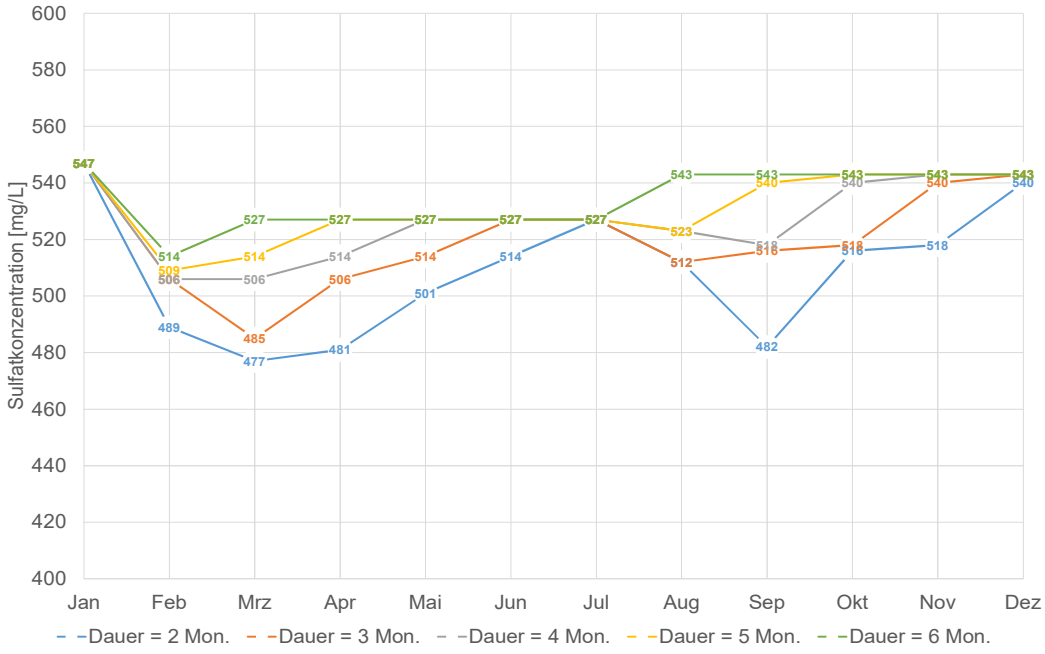


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

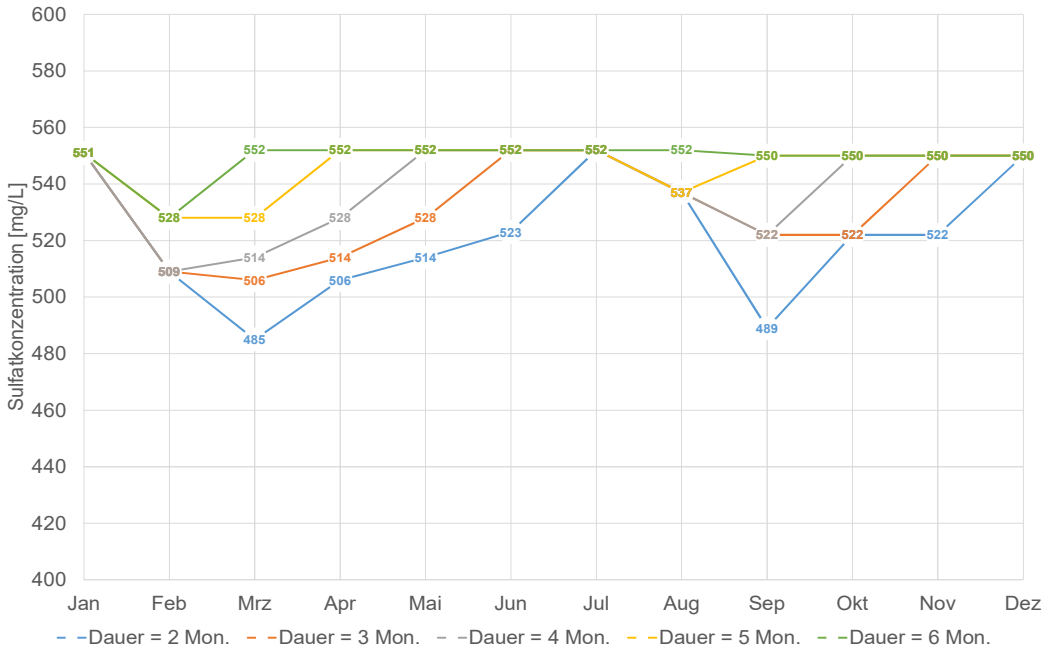


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

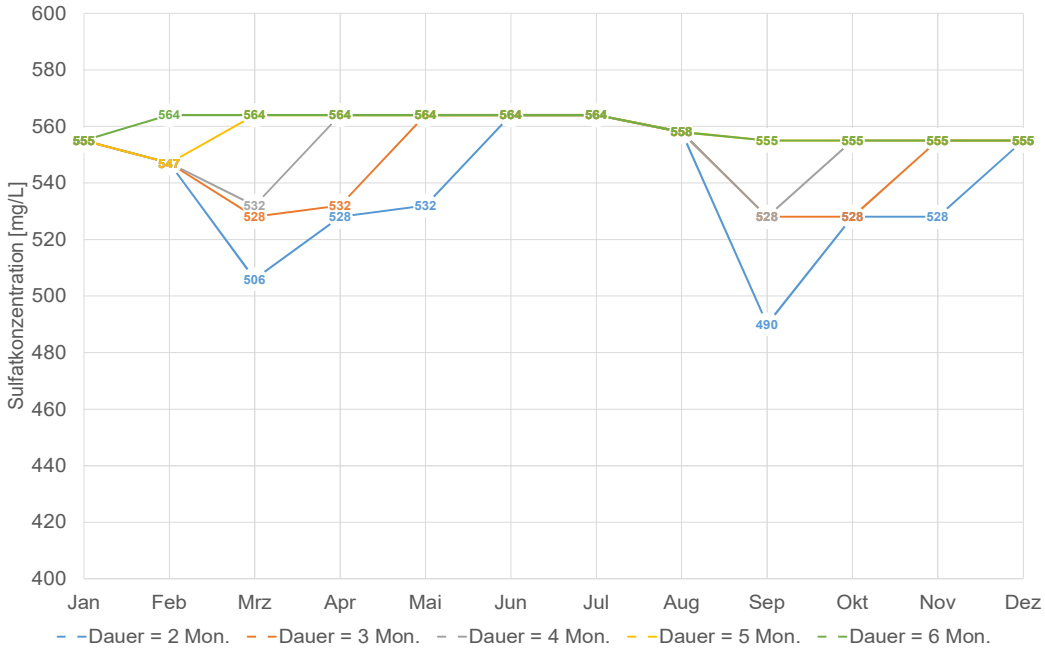


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

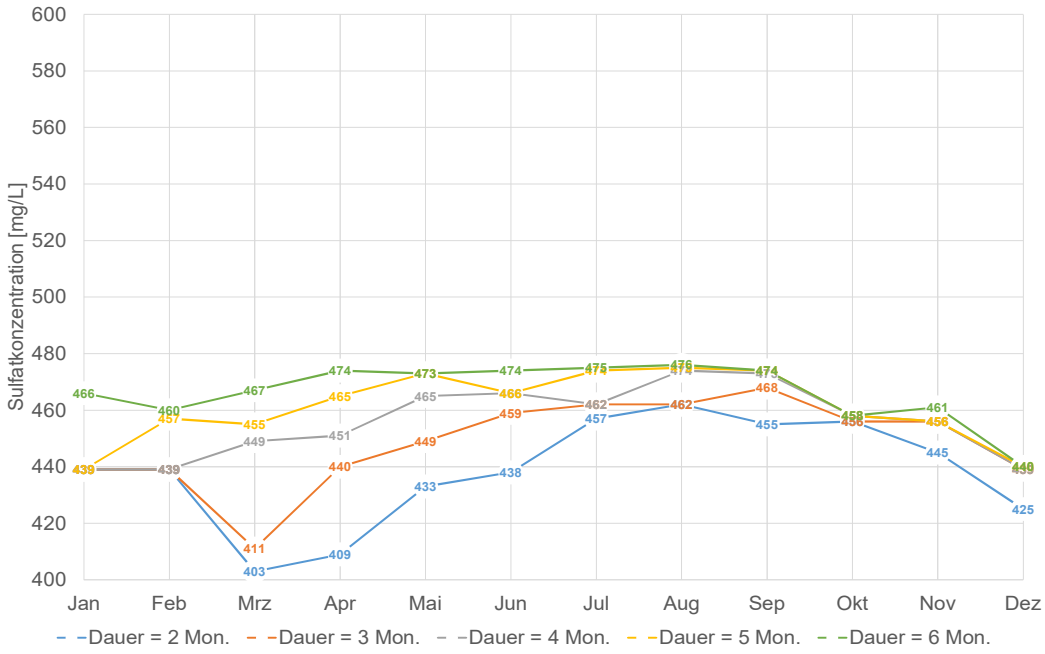


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

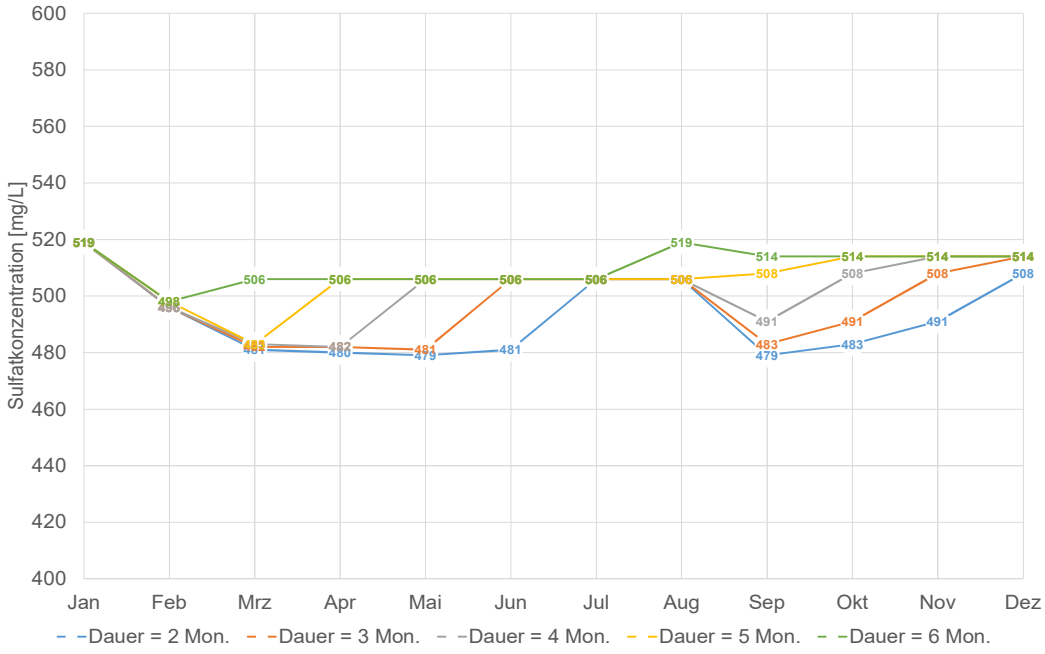


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Spremberg-Wilhelmsthal

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

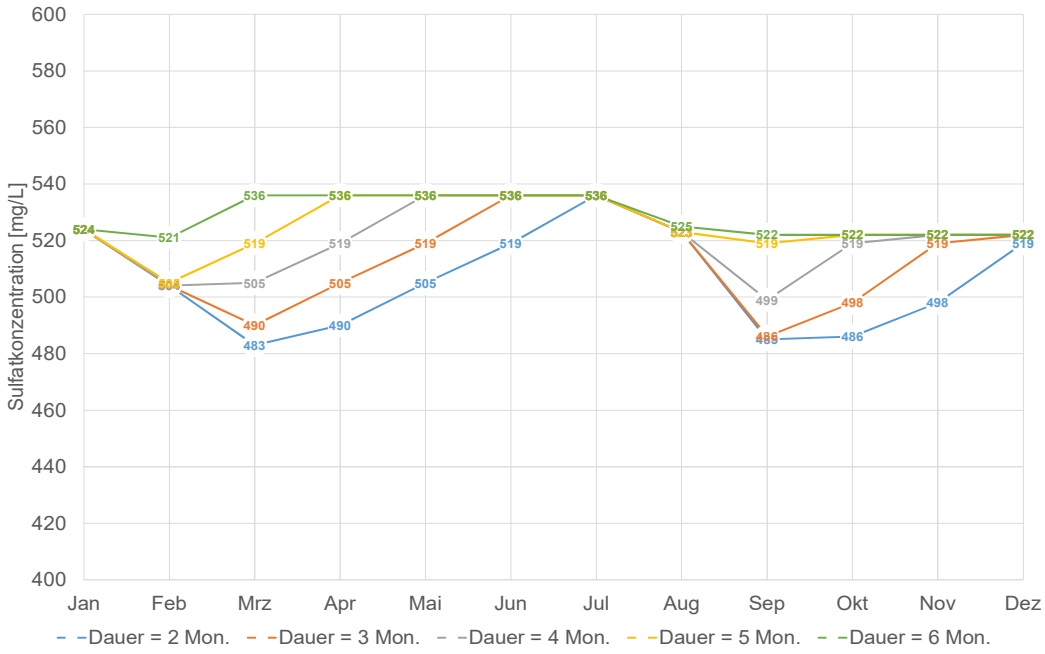


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Bräsinchen

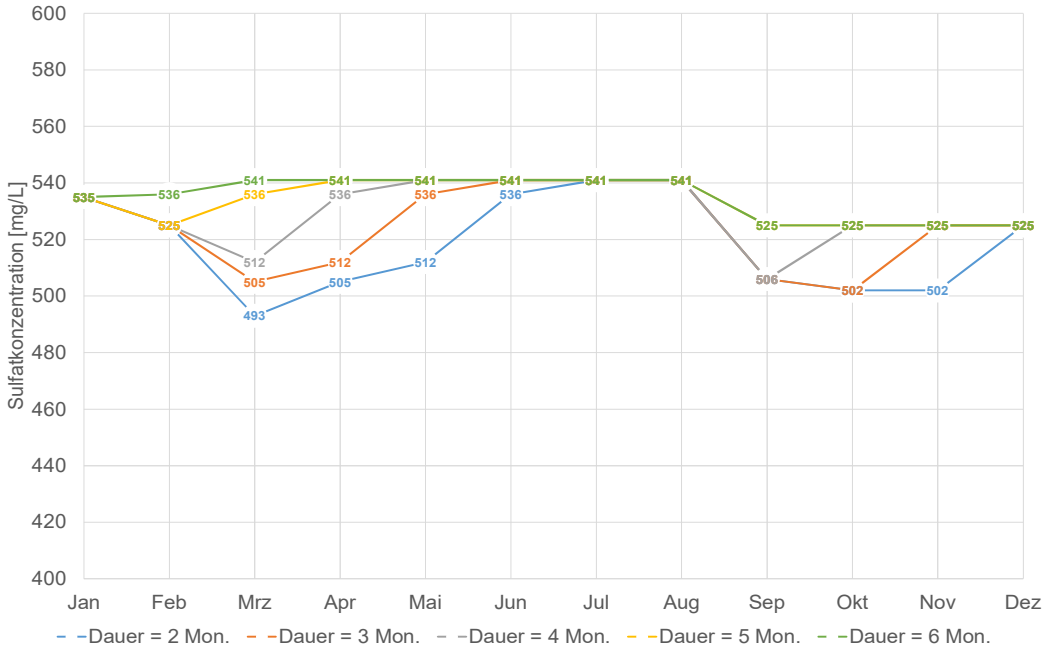


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

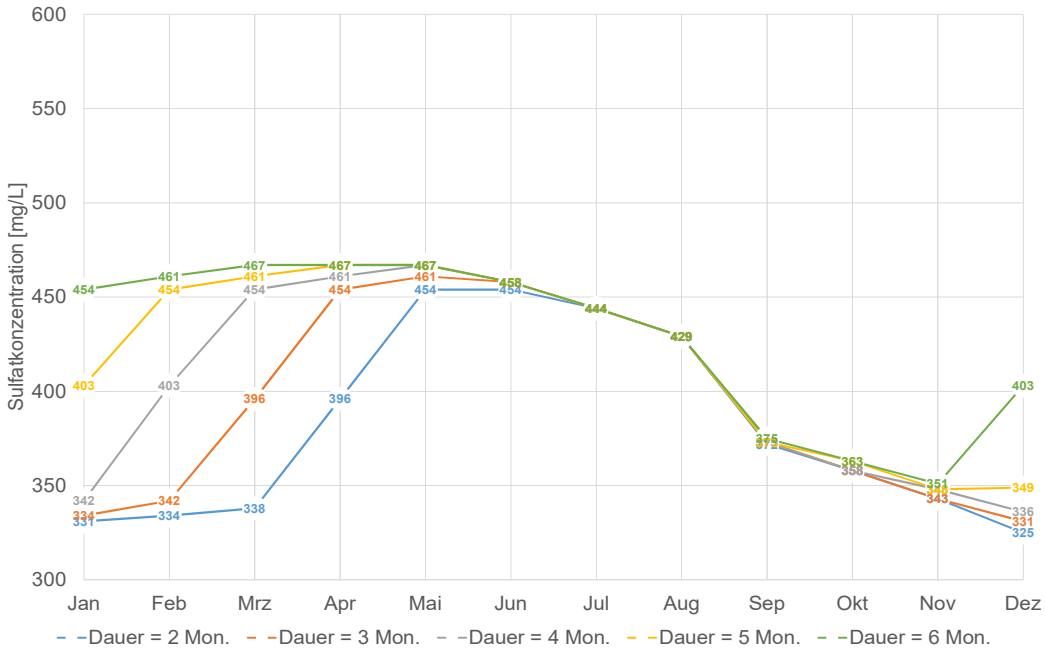


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Bräsinchen

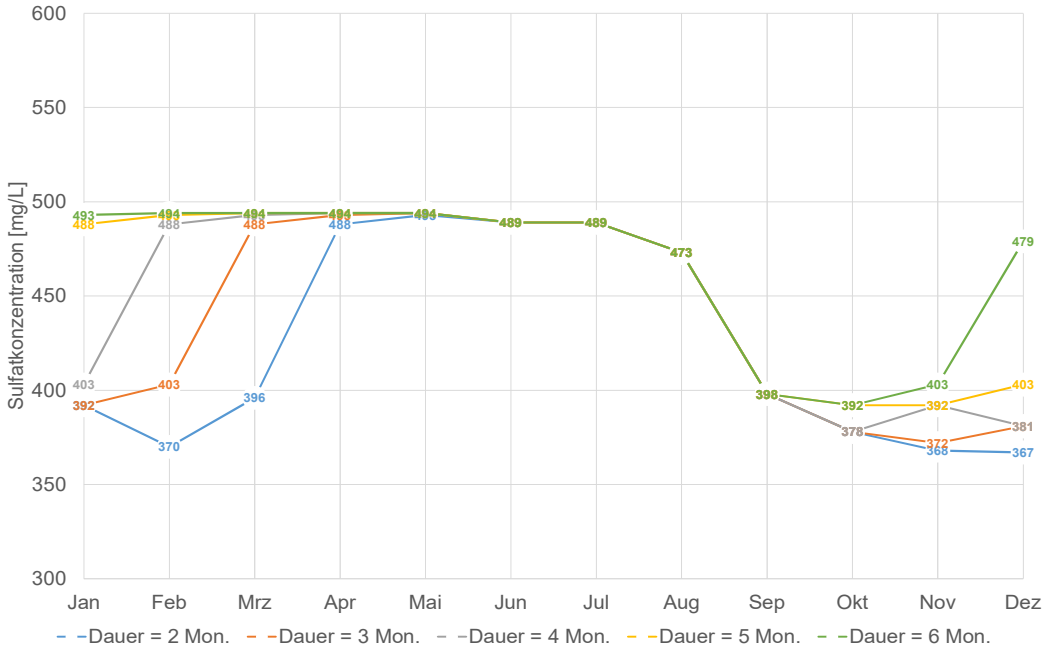


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Bräsinchen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

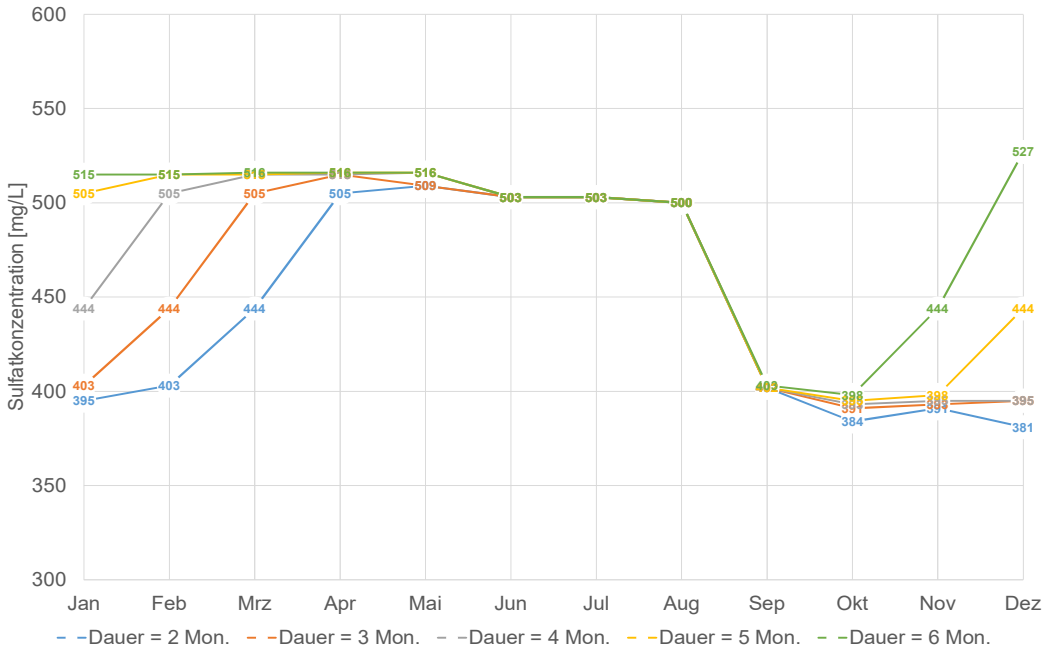


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Leibsch UP

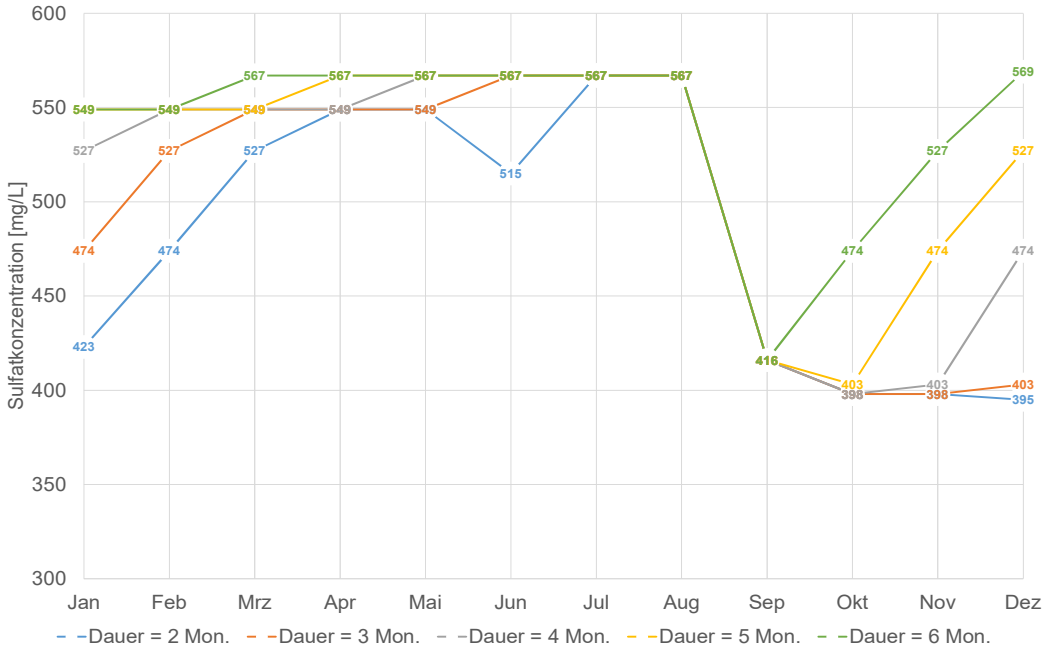


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

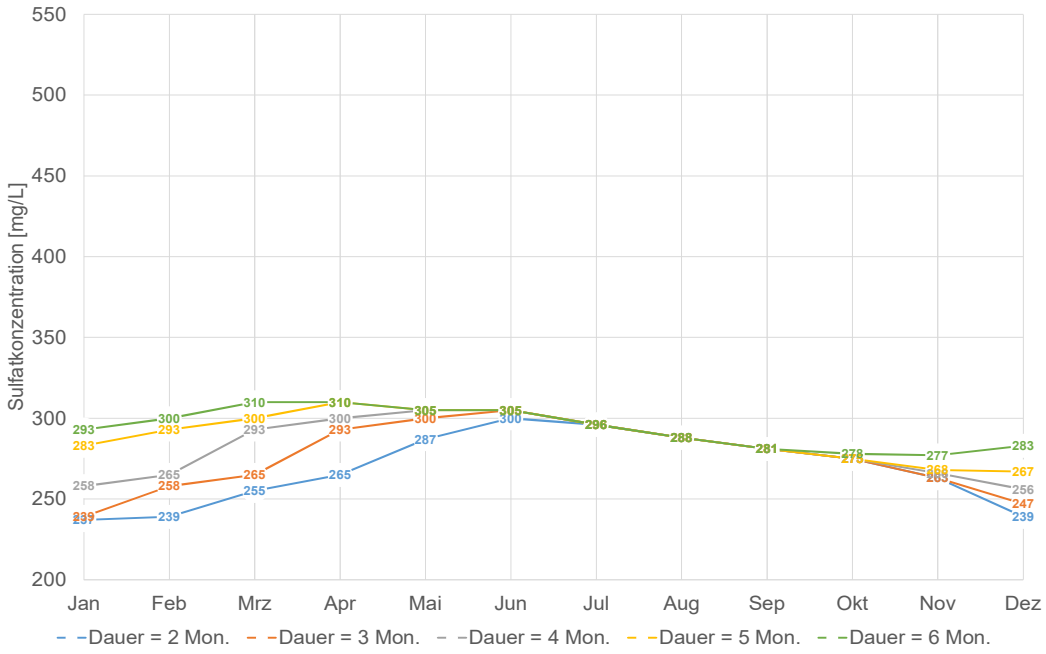


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Leibsch UP

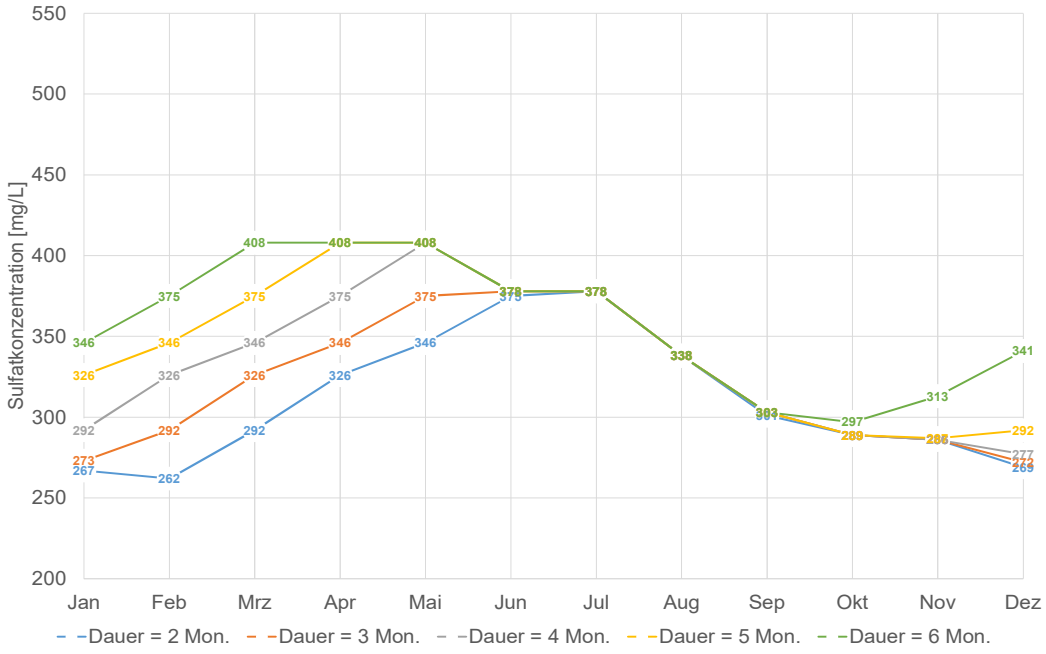


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Leibsch UP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

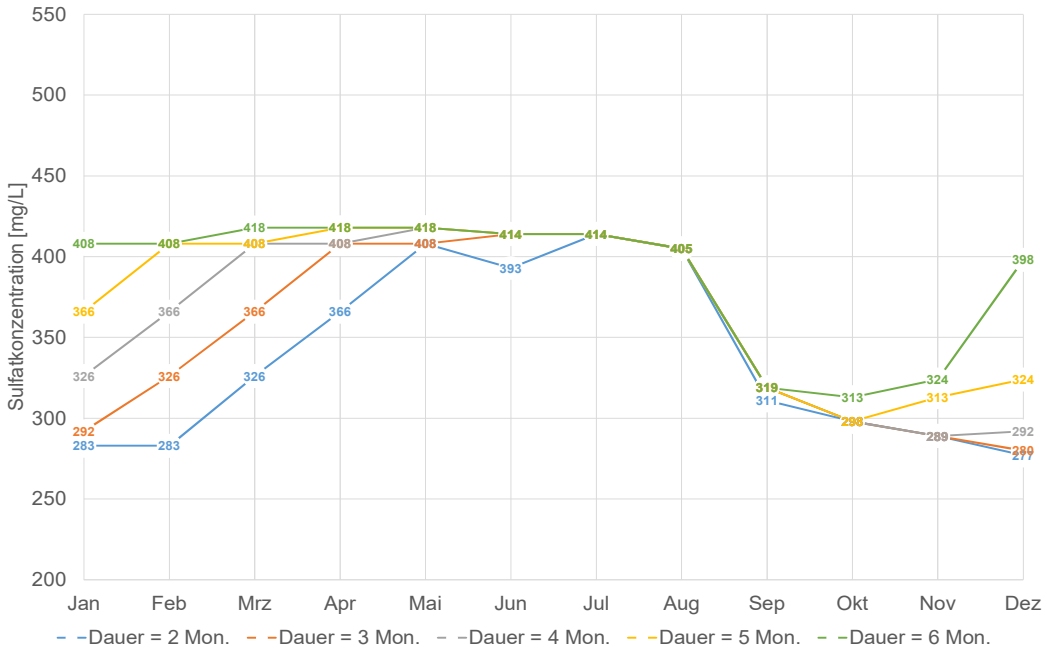


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Briesen

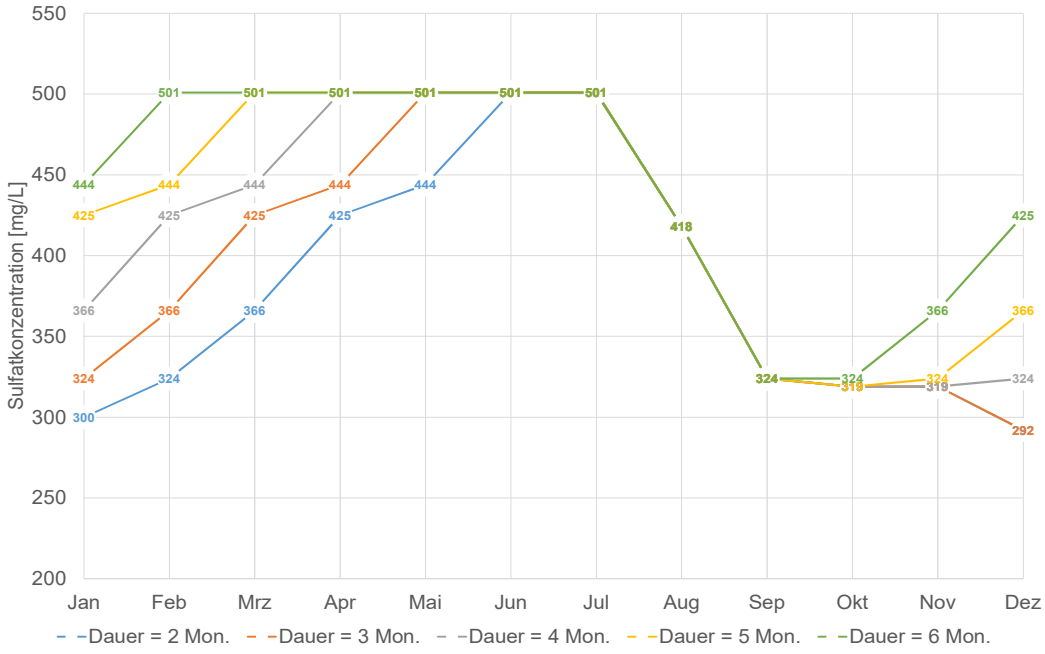


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

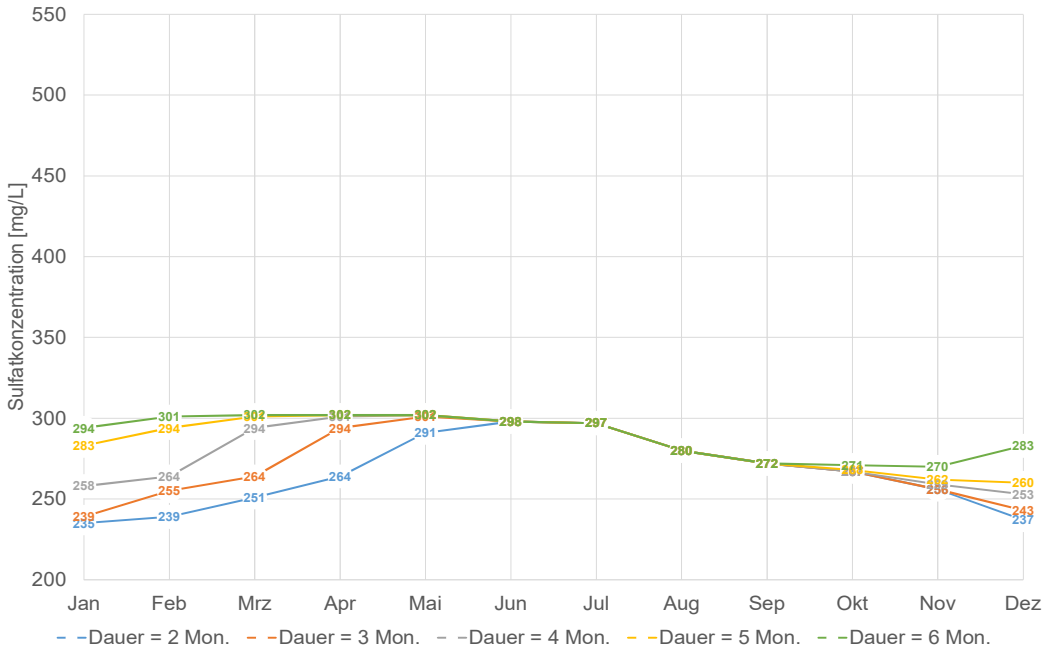


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Briesen

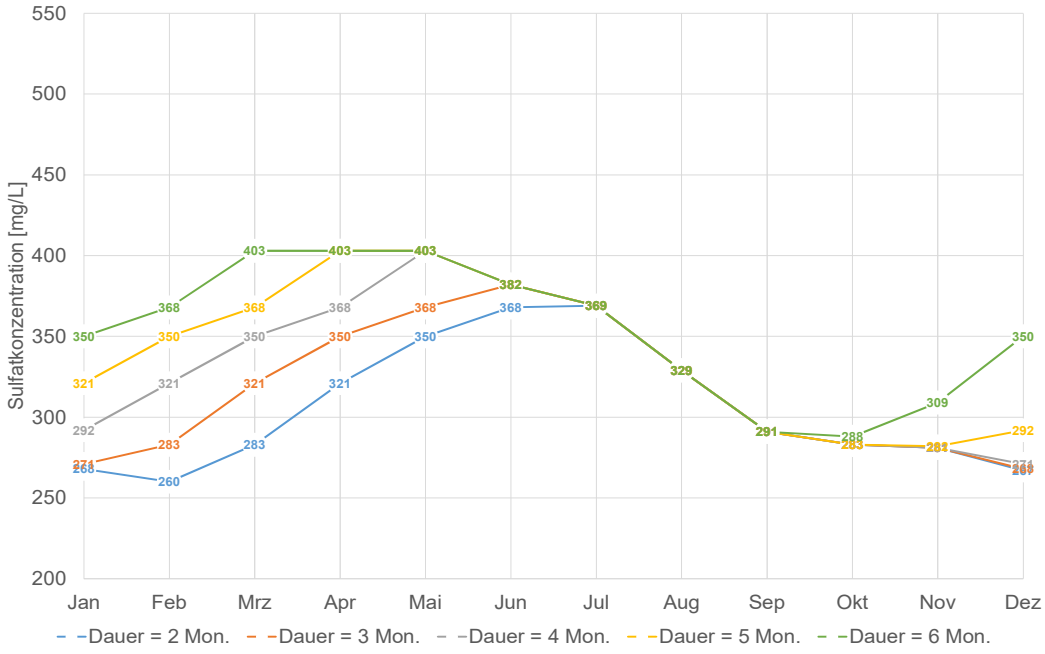


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Briesen

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

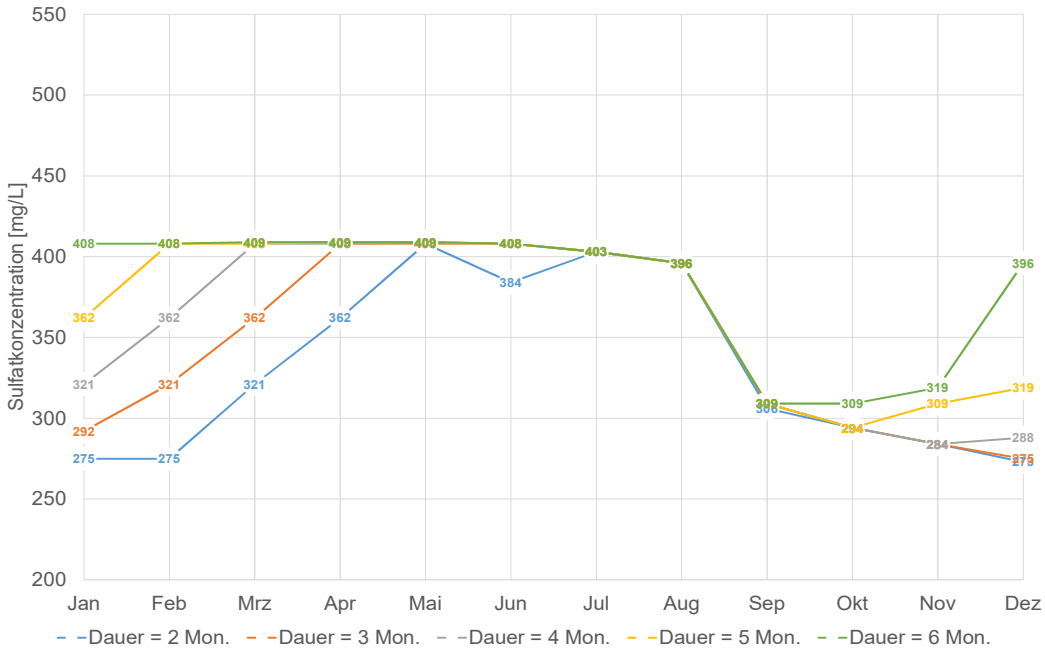


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Große Tränke OP

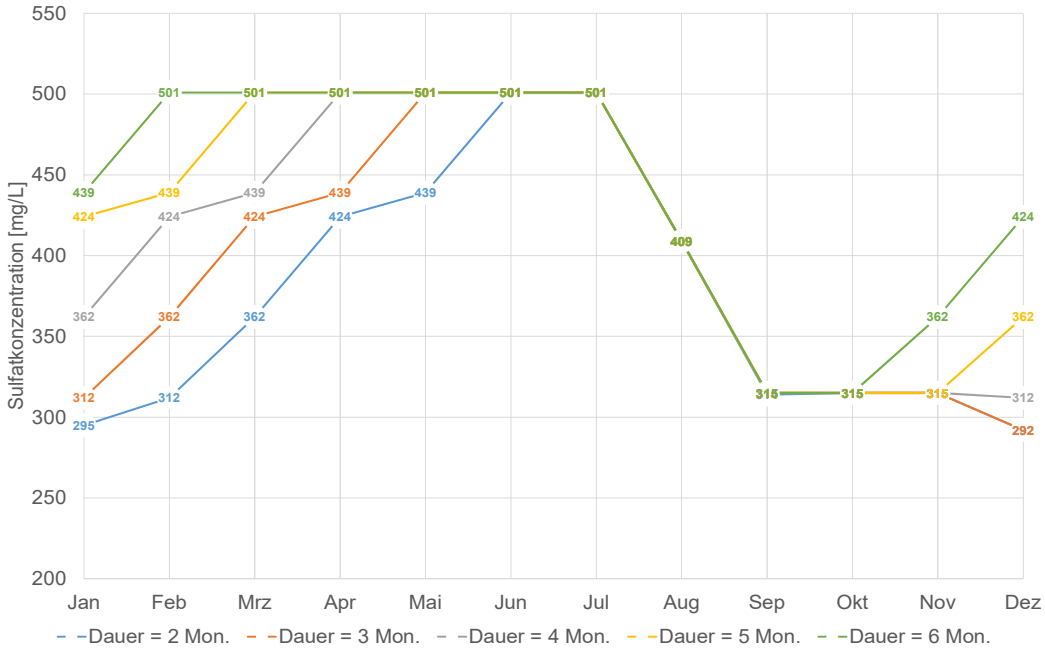


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

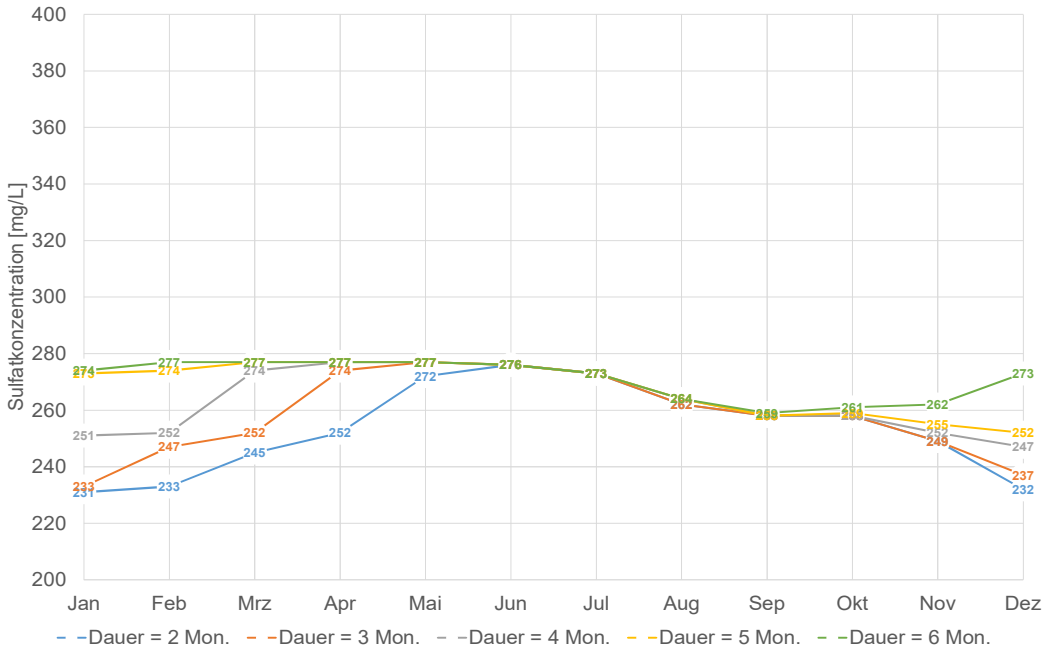


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstell Große Tränke OP

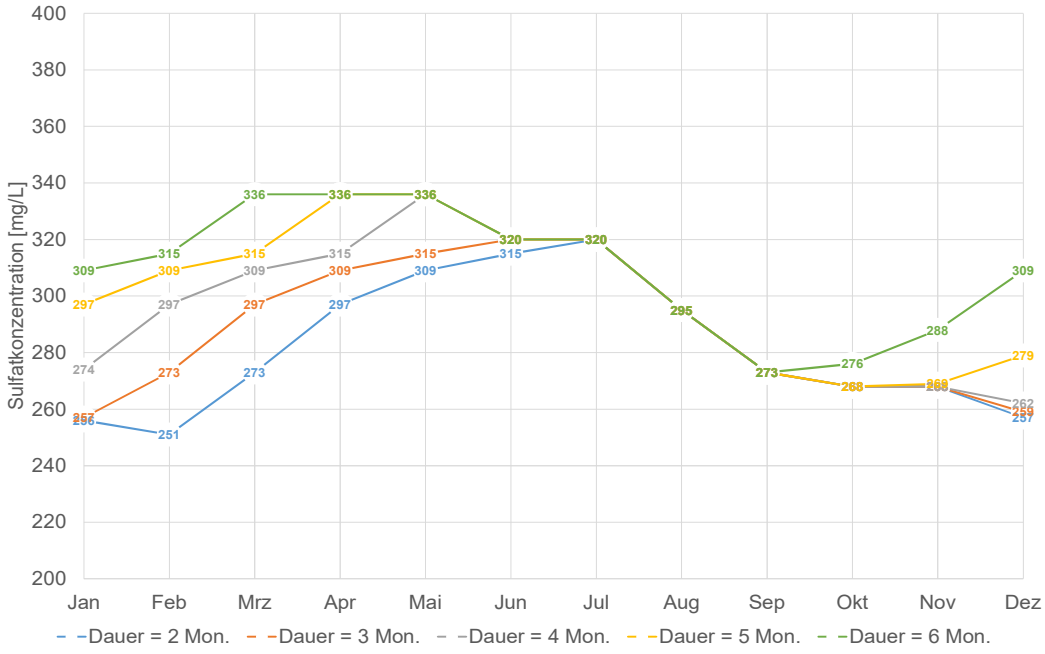


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstell Große Tränke OP

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

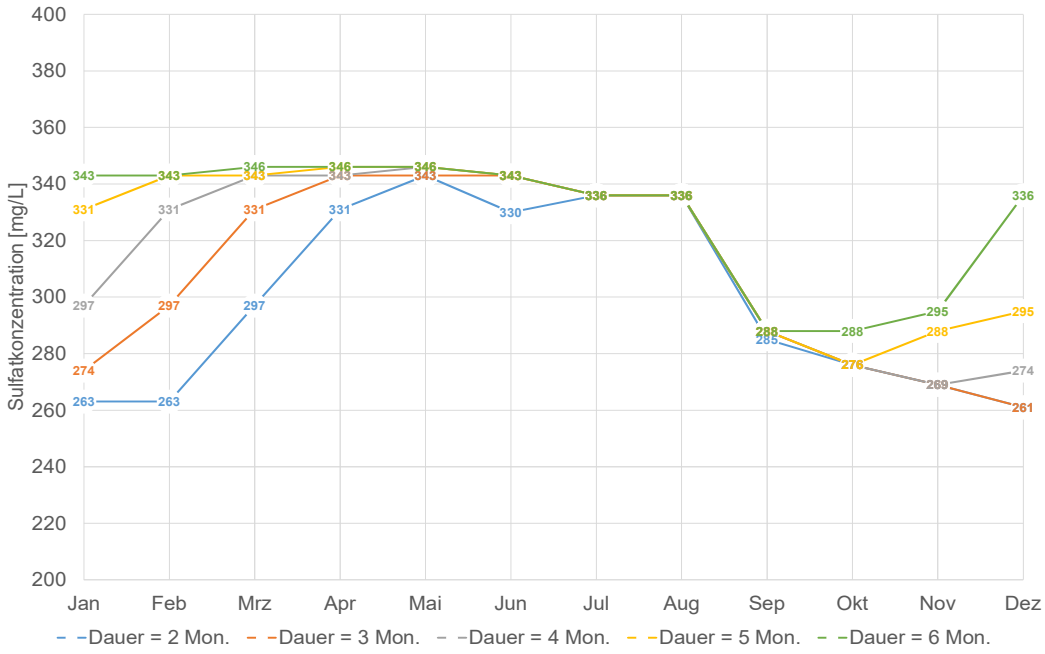


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Rahnsdorf

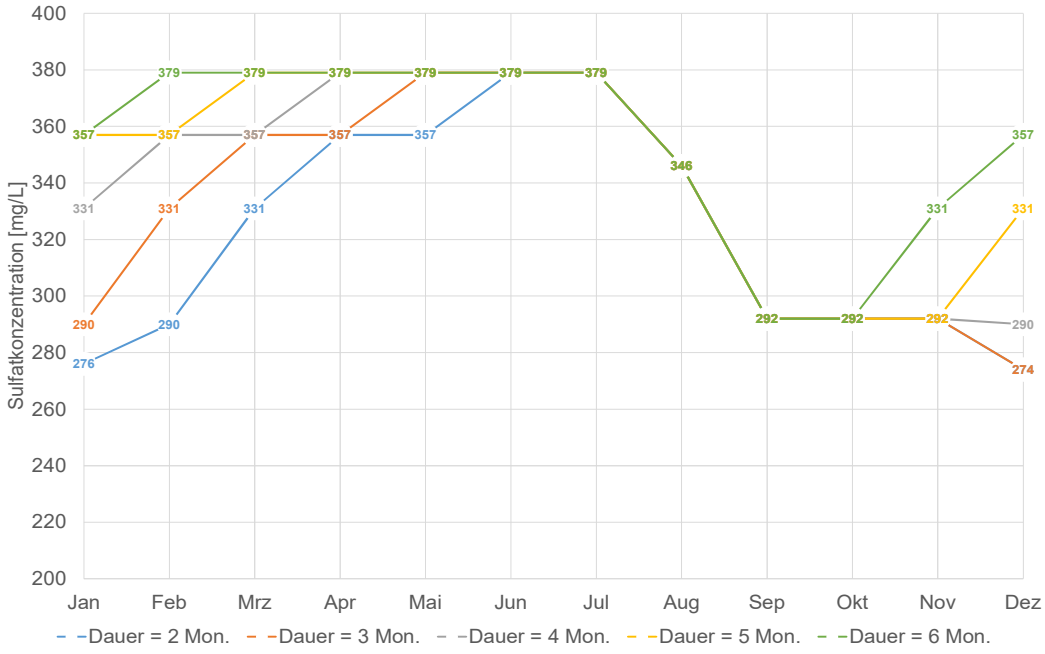


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=5a an der Messstelle Rahnsdorf

Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

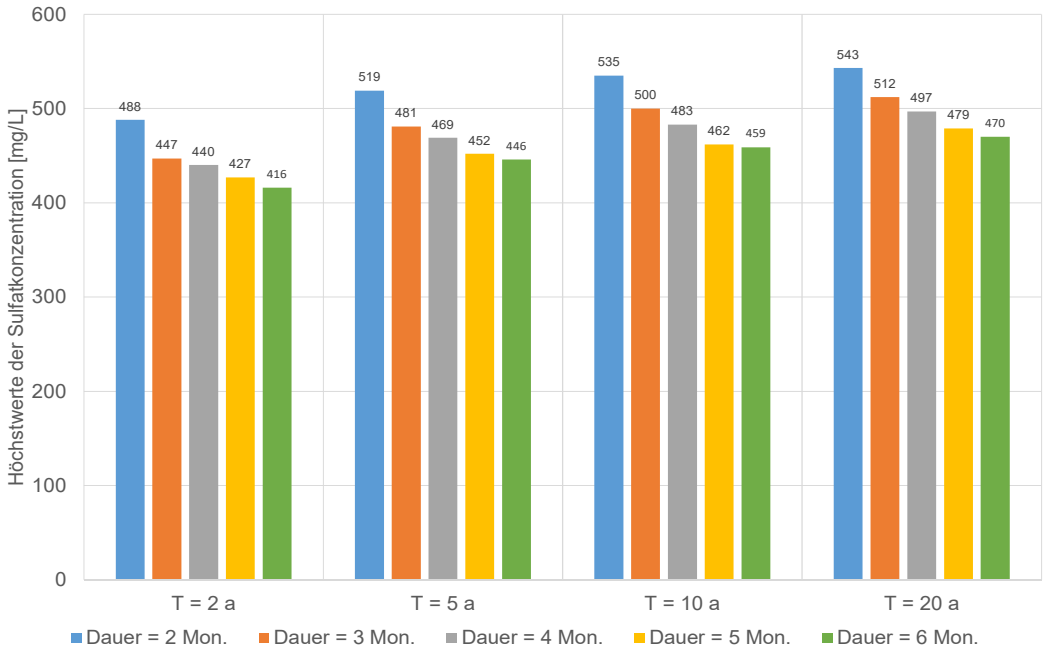


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Rahnsdorf

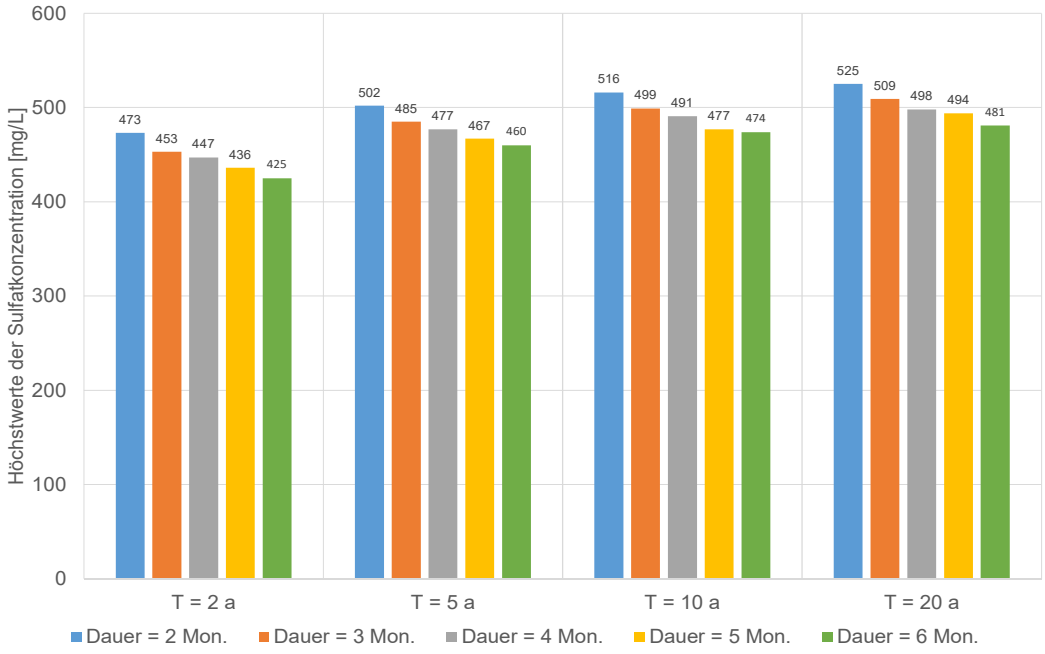


Sulfatkonzentrationen für verschiedene Dauern und das Wiederkehrintervall T=20a an der Messstelle Rahnsdorf

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

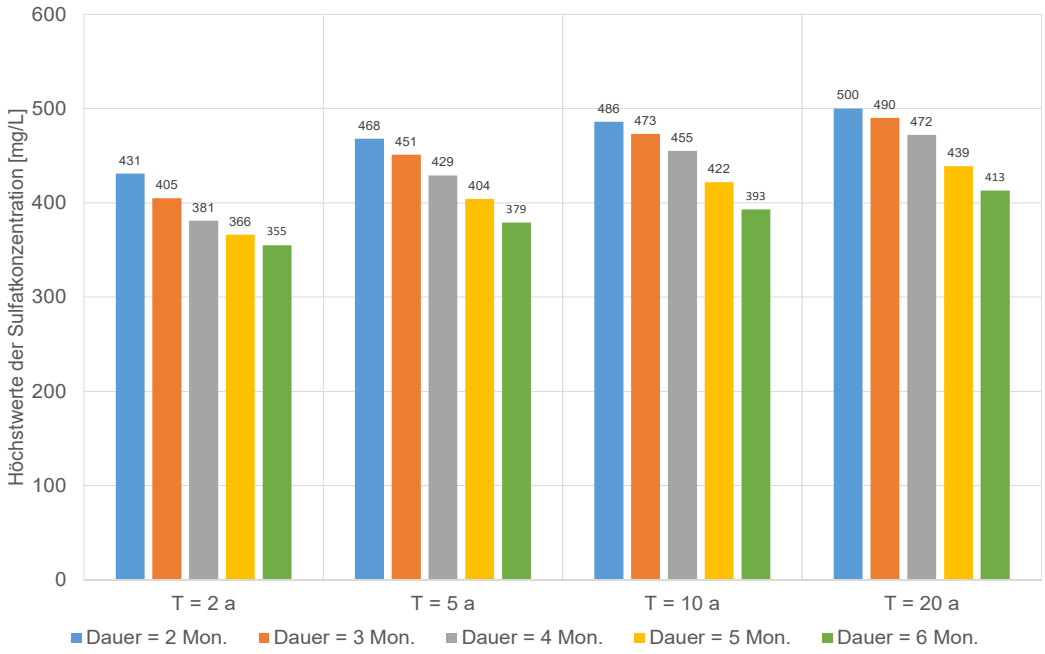


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

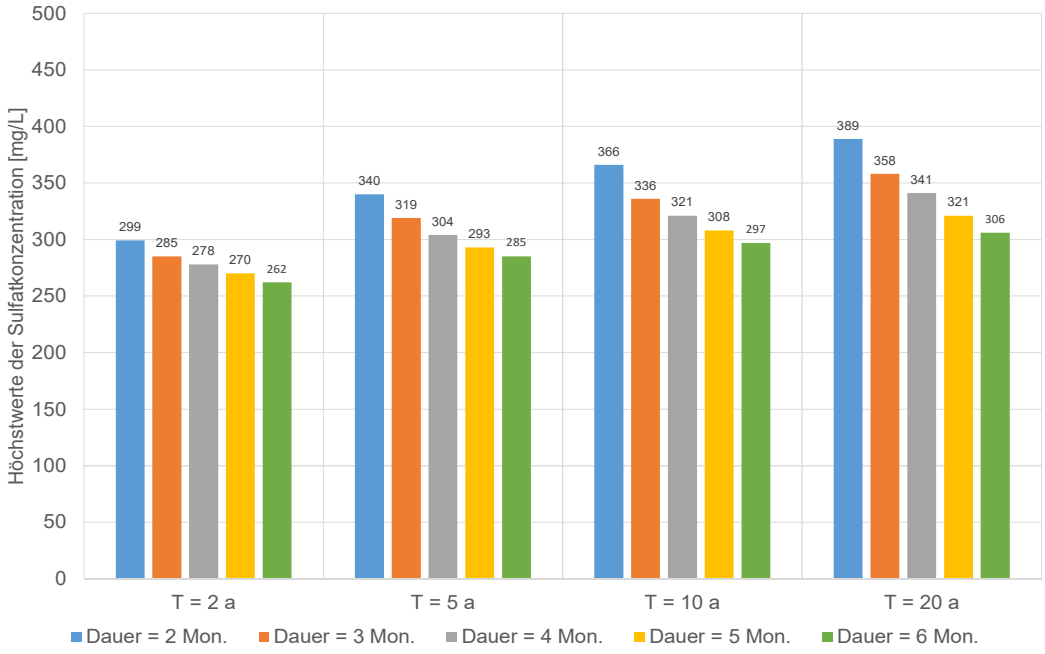


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Bräsinchen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)

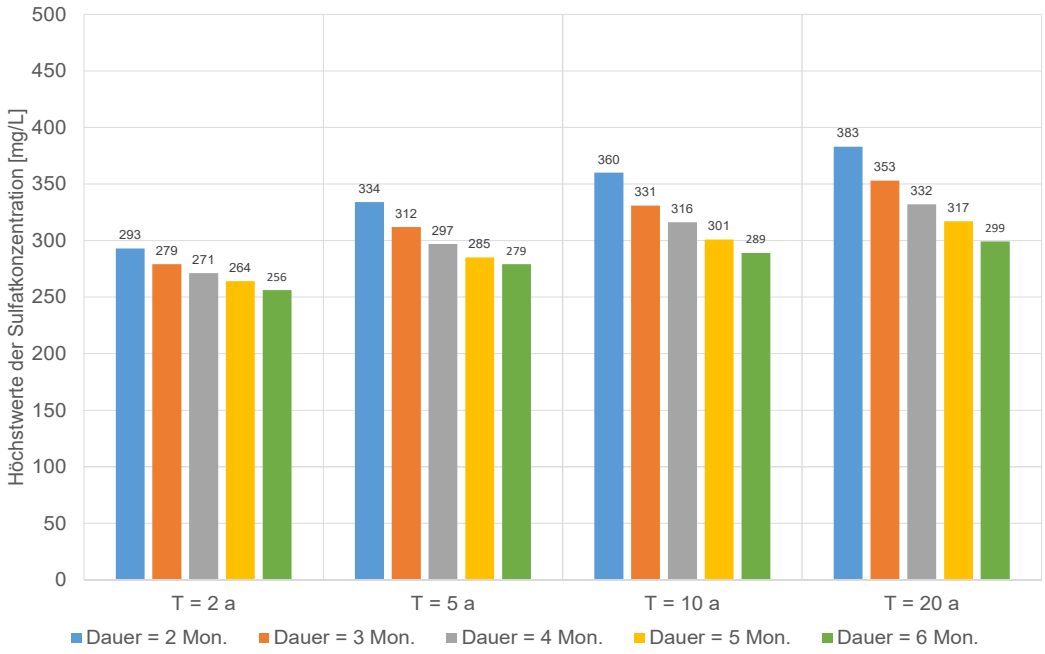


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Leibsch UP

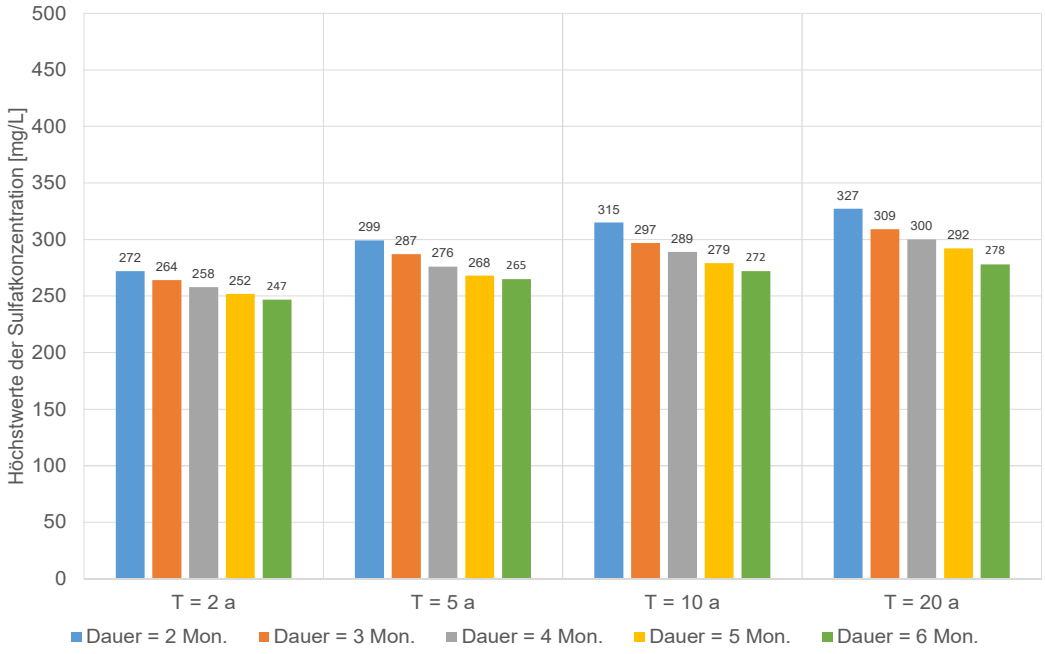


Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Briesen

Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Bräsinchen, Leibsch, Briesen, Gr. Tränke UP und Rahnsdorf (Szenario 5)



Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Große Tränke OP



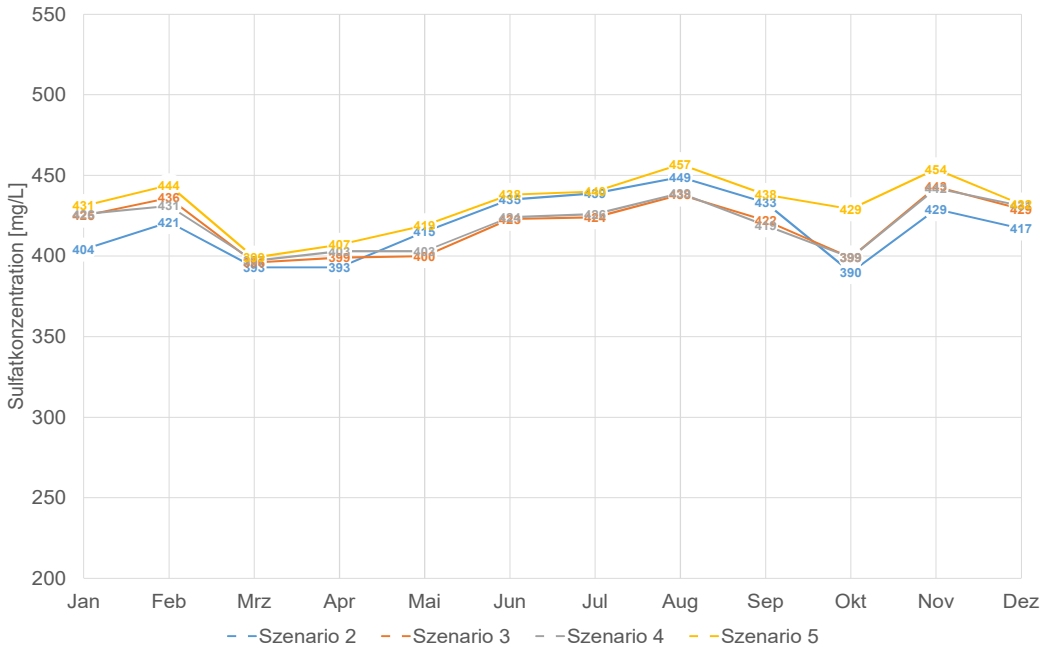
Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für verschiedene Wiederkehrintervalle und Dauern an der Messstelle Rahnsdorf

ANHANG 3.5

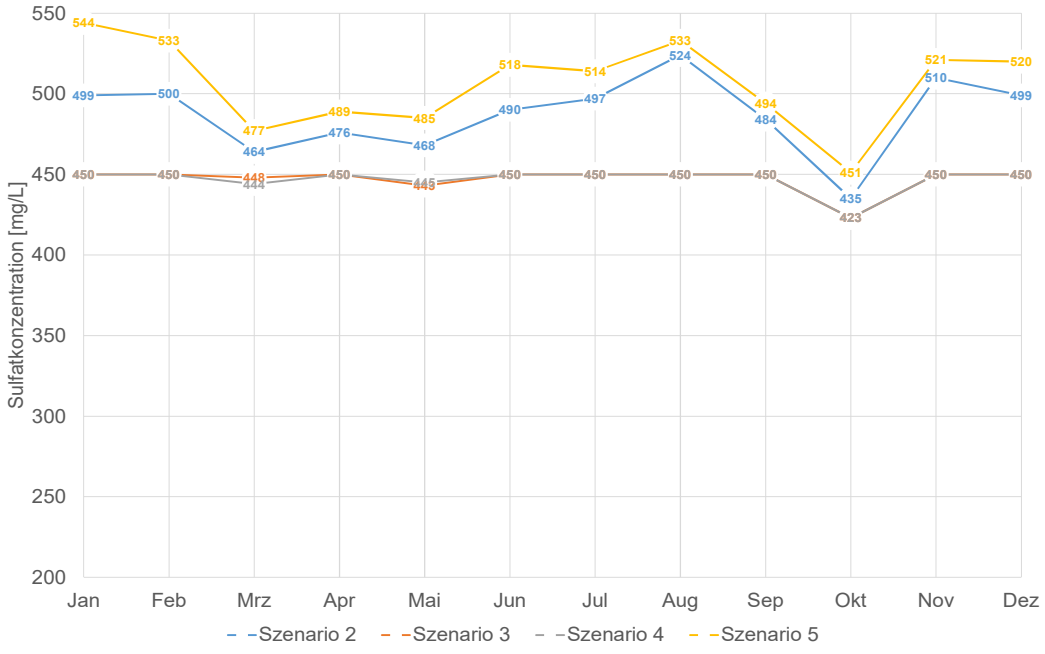
Vergleich ausgewählter Indikatoren der Szenarien

© DHI-WASY – 14803857_Sulfatprognosemodell/

Vergleich der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen bezügl. der Szenario 2-5

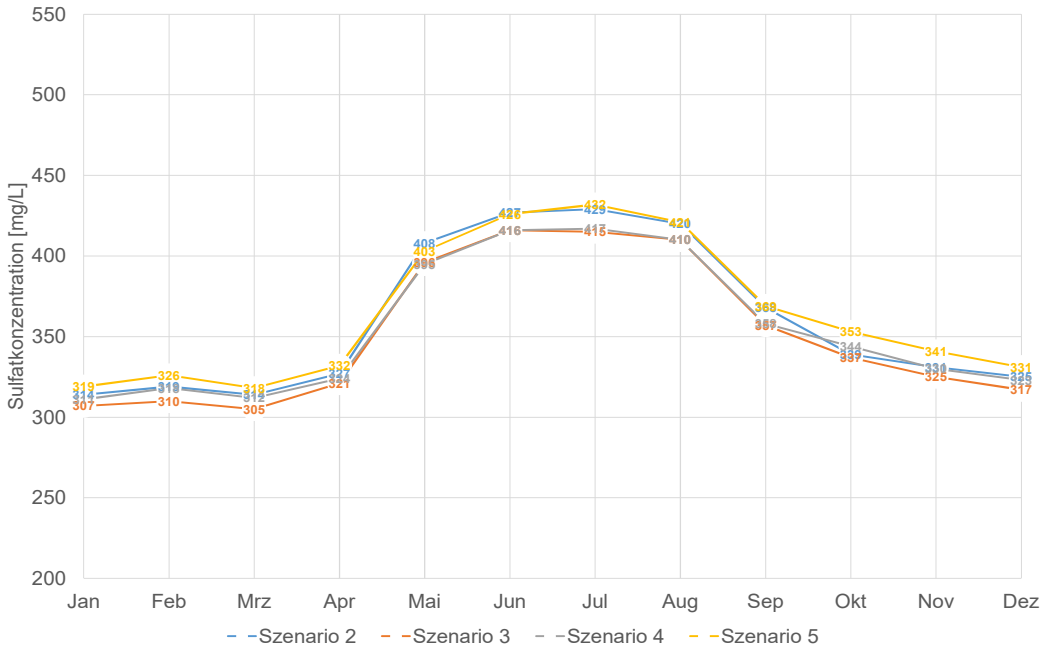


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

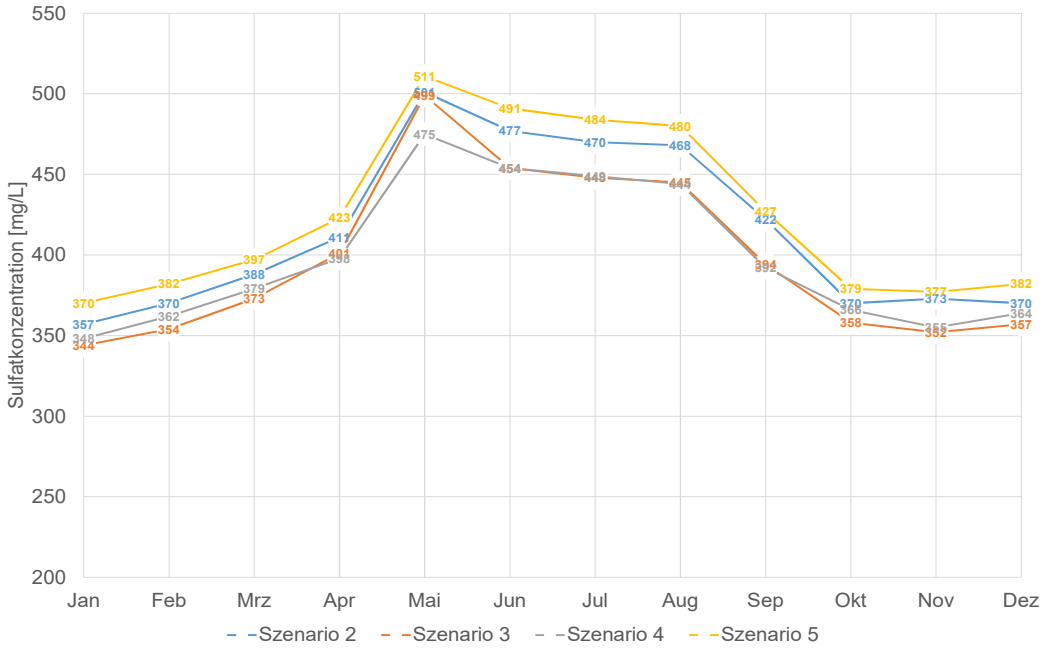


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Vergleich der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen bezügl. der Szenario 2-5

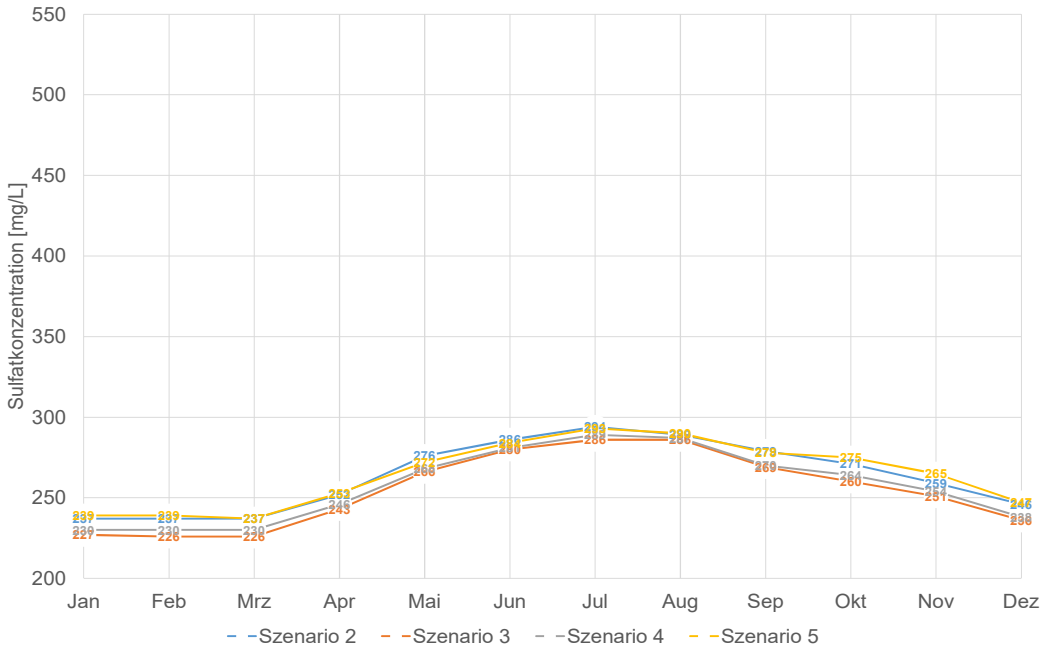


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Leibsch UP

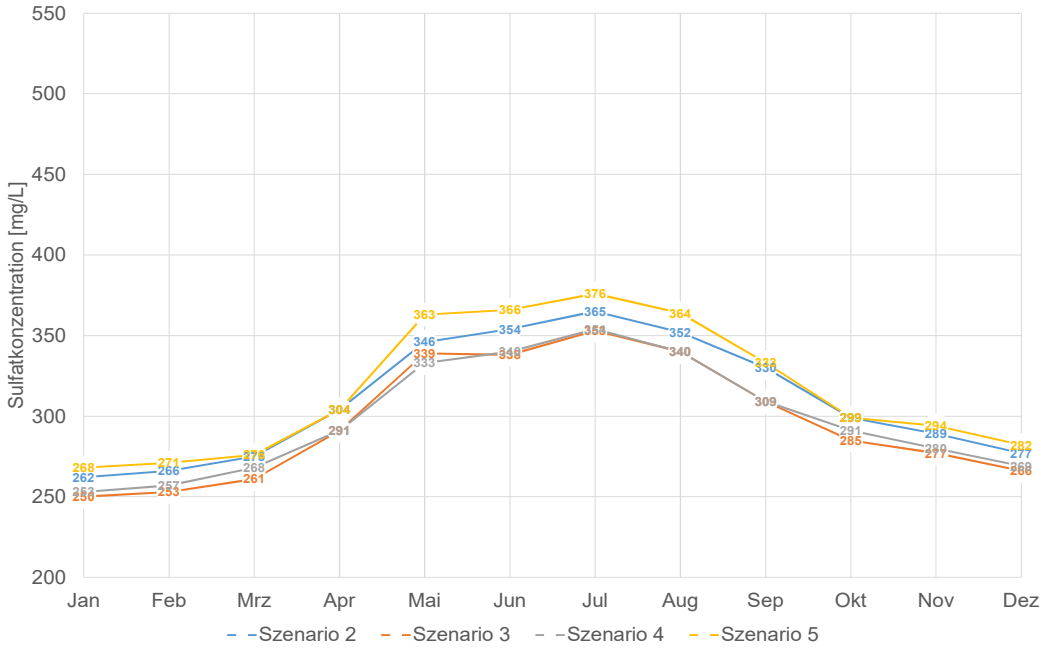


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Leibsch UP

Vergleich der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen bezügl. der Szenario 2-5

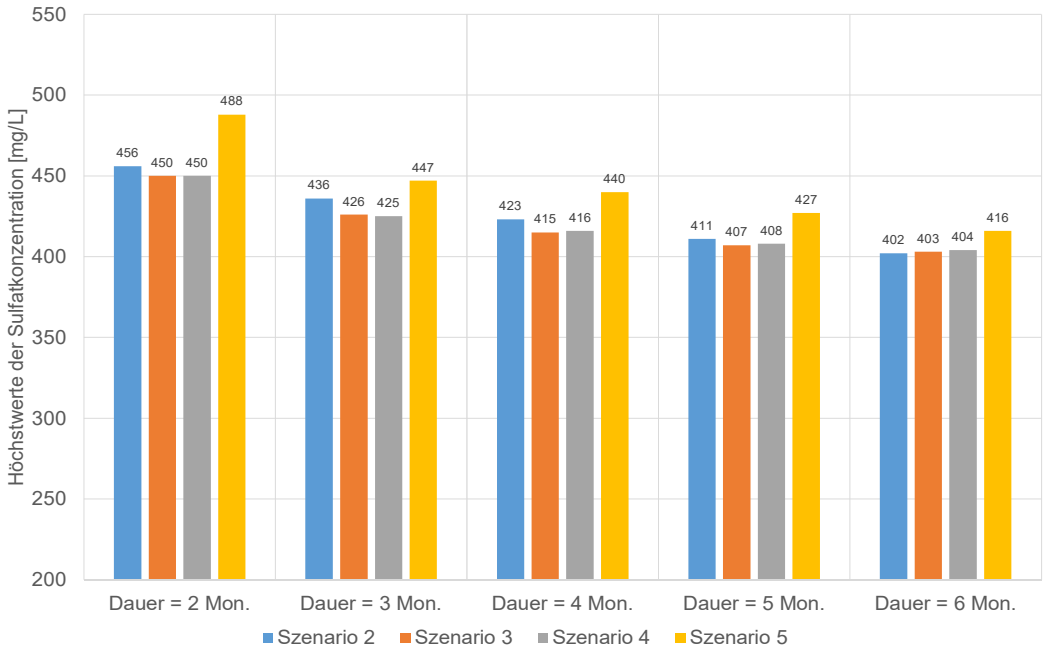


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a an der Messstelle Briesen

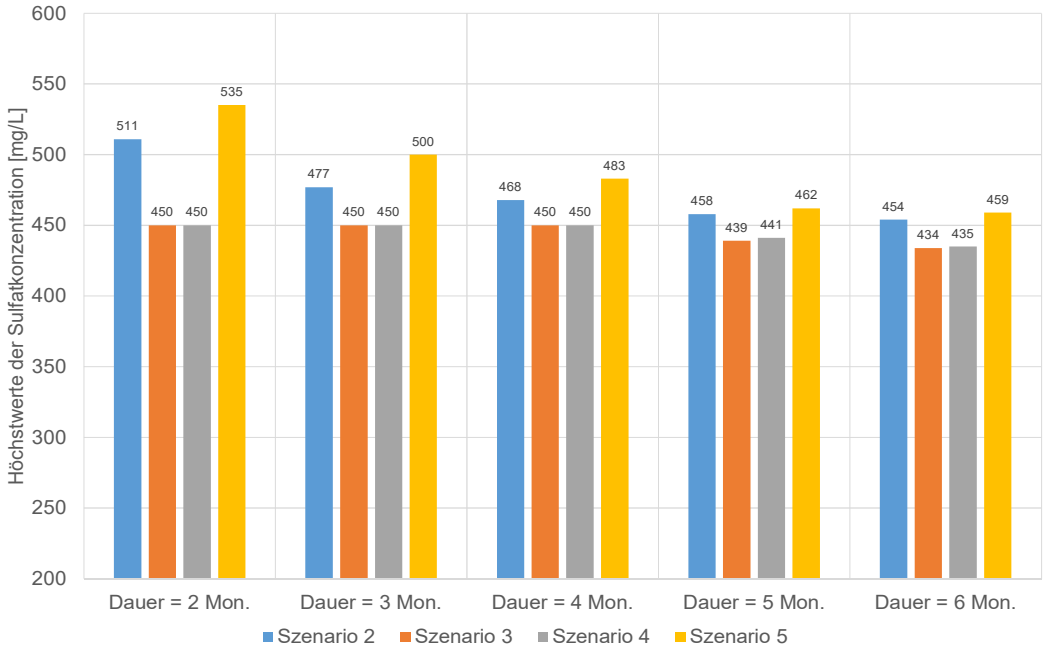


Vergleich der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a an der Messstelle Briesen

Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a sowie versch. Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen für die Szenarien 2-5

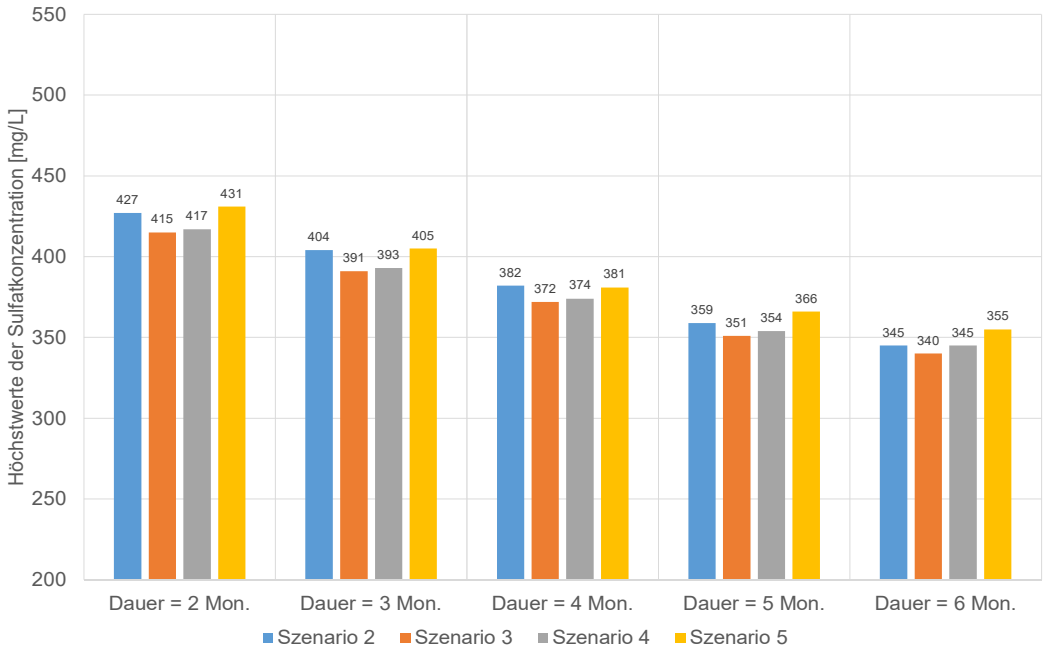


Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a und verschiedene Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

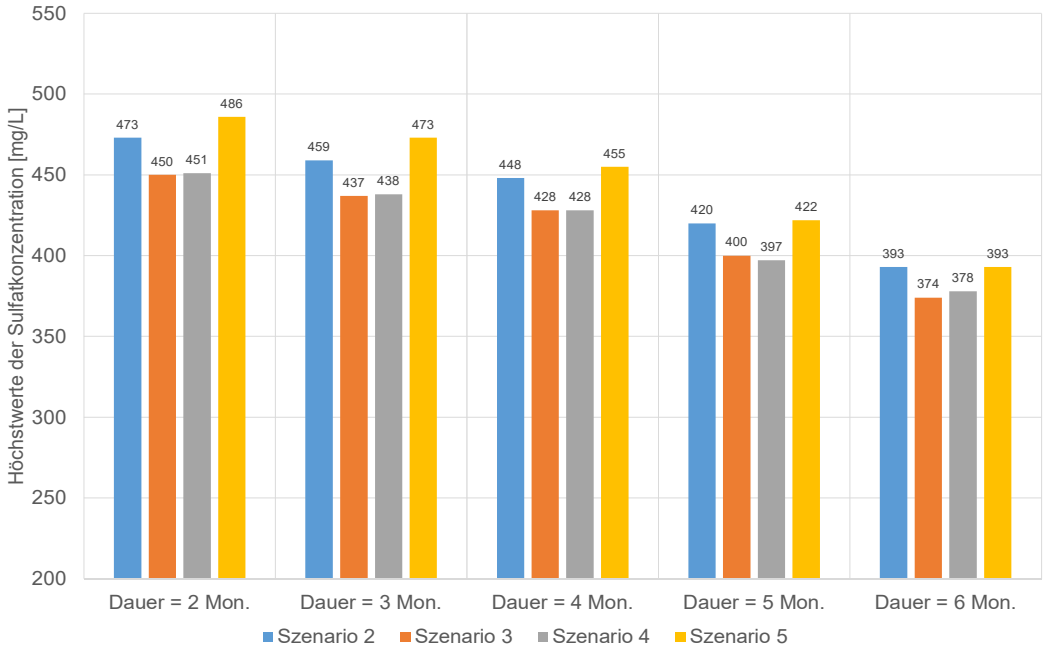


Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a und verschiedene Dauern an der Messstelle Spremberg-Wilhelmsthal

Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a sowie versch. Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen für die Szenarien 2-5

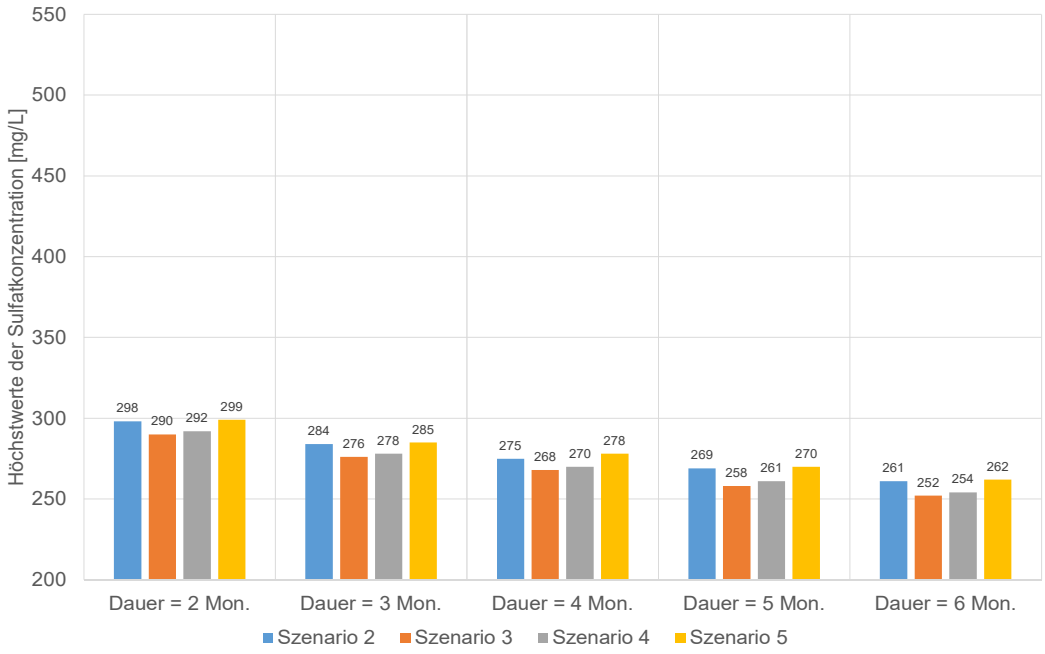


Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a und verschiedene Dauern an der Messstelle Leibsch UP

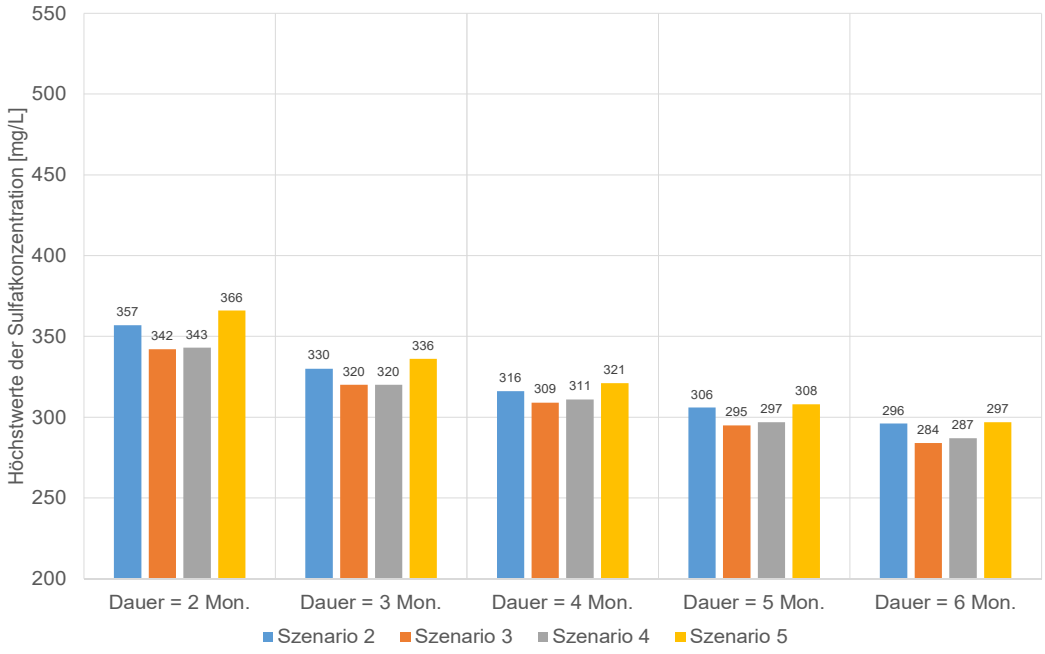


Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a und verschiedene Dauern an der Messstelle Leibsch UP

Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für die Wiederkehrintervalle T=2a und T=10a sowie versch. Dauern an den Messstellen Spremberg-Wilhelmsthal, Leibsch und Briesen für die Szenarien 2-5



Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=2a und verschiedene Dauern an der Messstelle Briesen



Vergleich der Höchstwerte der Sulfatkonzentrationen für das Wiederkehrintervall T=10a und verschiedene Dauern an der Messstelle Briesen