



**Universität
Zürich**^{UZH}

Geographisches Institut

**Pflanzenschutzmittel in Fließgewässern:
Meteorologische und hydrologische Einordnung des
Frühlings/Sommers 2015 in Anbetracht der
Einschätzung der Repräsentativität
des NAWA SPEZ II-Belastungsdatensatzes**

GEO 511 Masterarbeit

Eingereicht durch

Samuel Schafer

11-714-797

Betreut durch

Dr. Tobias Doppler, tobias.doppler@vsa.ch

Dr. Christian Stamm, christian.stamm@eawag.ch

Eawag, Abteilung Umweltchemie

Überlandstrasse 133

CH-8600 Dübendorf

Fakultätsvertretung

Prof. Dr. Jan Seibert

Datum der Abgabe: 12.04.2017

Geographisches Institut, Universität Zürich

VORWORT

Schon immer haben mich Gifte in der Umwelt fasziniert. Ein grosser Dank geht darum an meine Betreuer Dr. Tobias Doppler und Dr. Christian Stamm, die mir als eher fachfremden Geographen das Schreiben dieser Arbeit ermöglichten und mit ihren wertvollen Anregungen massgebend zum Gelingen dieser Arbeit beitrugen. Zudem danke ich Prof. Dr. Jan Seibert für die Fakultätsvertretung des Geographischen Instituts der Universität Zürich.

Ich danke allen Menschen von der Abteilung Umweltchemie der Eawag in Dübendorf, mit denen ich tolle Zeiten verbracht habe, wobei ich jene mit Namen erwähnen möchte (in alphabetischer Reihenfolge): Valeria Bianco, Jakov „Kov“ Bolotin, Werner „Werni“ Desiante, Anne Dax, Dominique Rust, Philipp „Rüedl“ Staudacher, Evelyne Vonwyl, Valérie Waser und Hannah Wey.

Des Weiteren danke ich allen Geographinnen und Geographen, die ich während meiner Studienzeit kennen lernen durfte und sie zu dem machten, was sie geworden ist: Ein eindruckreicher Lebensabschnitt. Folgende Personen möchte ich speziell erwähnen, ebenfalls in alphabetischer Reihenfolge: Jessica Abt, Silvana Bernasconi, Cyrill Hess, Laura Merki, Andrea Millhäusler, Marius Rüetschi und Catherine Wälti.

Zum Schluss danke ich meiner Familie und Freunde für ihre stetige Gegenwart.

Die vorliegende Masterarbeit wurde Mitte September 2016 begonnen und Anfangs April 2017 beendet. Während dieser Zeit konnte ich viel lernen, bin persönlich gewachsen und werde sie in guter Erinnerung behalten.

Dübendorf, 11. April 2017

Samuel Schafer

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	10
1 EINLEITUNG	12
1.1 GEBIETSBSCHREIBUNG	15
1.2 DATEN	16
1.3 STATISTISCHE METHODEN.....	19
2 RESULTATE UND DISKUSSION	24
2.1 EINSCHÄTZUNG DER METEOROLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN BEDINGUNGEN (TEIL 1).....	25
2.1.1 Standort Basel.....	25
2.1.2 Standort Bern.....	25
2.1.3 Standort Tessin.....	26
2.1.4 Standort Thurgau.....	26
2.1.5 Standort Wallis.....	27
2.1.6 Überregionaler Vergleich	28
2.2 INBEZUGNAHME DER BELASTUNGSDATEN (TEIL 2)	35
2.2.1 Korrelationen zwischen den PSM-Summenkonzentrationen und den Umweltvariablen.....	35
2.2.2 Kategorisierung und Quantifizierung der Mischproben bezüglich den meteorologischen und hydrologischen Bedingungen	39
2.2.3 Qualitativer Beschrieb und inhaltliche Interpretation standortspezifischer Resultate	51
3 FAZIT	63
4 LITERATUR	65
5 ANHANG	68
5.1 TABELLEN	68
5.2 ABBILDUNGEN	70
5.2.1 Auswahl der Meteostationen.....	70
5.2.2 Beurteilung der meteorologischen und hydrologischen Bedingungen.....	76
5.2.3 Kategorisierung und Quantifizierung der Mischproben bezüglich den meteorologischen und hydrologischen Bedingungen	83
5.2.4 Korrelationsanalysen	87
EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	96

TABELLEN UND ABBILDUNGEN

TABELLE 1: ÜBERBLICK DER AUSGEWÄHLTEN MESSSTATIONEN AN DEN JEWEILIGEN BEPROBUNGSSTANDORTEN. HELLGELB MARKIERT SIND DIE STATIONEN, DIE AUFGRUND HÖHERER ZEITLICHEN AUFLÖSUNG (CRESSIER) ODER GERINGERER RÄUMLICHEN DISTANZ ZU DEM BEPROBUNGSSTANDORT (GEUSENBACH GÜTTIGEN) IM TEIL 2 VERWENDET WURDEN.	16
TABELLE 2: ANZAHL UND ANTEIL ALLER MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH MISCHPROBENTYP UND STANDORT.....	19
TABELLE 3: AUSWAHL ($\geq 10\text{MM/H}$ ODER $\geq 1.1\text{Y}$) AN EXTREMEN NIEDERSCHLAGSINTENSITÄTEN IM JAHR 2015 UND IHRE WIEDERKEHRPERIODEN. SORTIERT NACH ABFALLENDER LÄNGE DER WIEDERKEHRPERIODE DES ENTSPRECHENDEN EREIGNISSES.	31
TABELLE 4: KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (R^2) DER LINEAREN KORRELATIONSANALYSEN, UNTERTEILT NACH ABSOLUTEN WERTEN UND DELTA-WERTEN (TOTAL 24 KORRELATIONSANALYSEN). KURSIV MARKIERTE WERTE MARKIEREN NEGATIVE STEIGUNGEN DER REGRESSIONSGERADEN. BLAU MARKIERT: WERTE $R^2 > 0.1$, ROT MARKIERT: WERTE $R^2 > 0.5$	36
TABELLE 5: ANTEILE (AUF GANZE % GERUNDET) DER KOMBINIERTEN KATEGORISIERUNG ÜBER ALLE STANDORTE. EINE AUFLISTUNG PRO STANDORT SOWIE MIT DER ANZAHL MISCHPROBEN PRO KATEGORIE IST IM ANHANG ZU FINDEN (VGL. TAB. A2 UND A3).	40
TABELLE 6: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG DER MISCHPROBEN (UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBEN AUSGESCHLOSSEN). INTERPRETATIONEN DER METEOROLOGISCH-HYDROLOGISCHEN SITUATION UND MIT INBEZUGNAHME DES VERHALTENS DER BELASTUNGEN.	45
TABELLE 7: ÜBERPRÜFUNG DER MÖGLICHEN GEGENSEITIGEN BEEINFLUSSUNG VON HALBTAGESMISCHPROBEN (HTMP) AUF LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBEN (MP >1HT) UND UMGEKEHRT, AUFGETEILT NACH PARAMETER. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE. DIE UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL ALLER VGL. MISCHPROBEN PRO PARAMETER IST BEI DELTA-NIEDERSCHLAG DURCH DIE ZUSÄTZLICHE KATEGORIE „NIEDERSCHLAGSMITTELWERT = 0MM“, BEI DELTA-ABFLUSS DURCH DIE FEHLENDEN ABFLUSSDATEN AM STANDORT WALLIS ZU ERKLÄREN.	49
TABELLE A 1: PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER WIEDERKEHRPERIODEN VON EXTREMEN NIEDERSCHLAGSINTENSITÄTEN (METEOSCHWEIZ 2016A).	68
TABELLE A 2: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG. ANZAHL MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH KATEGORIE, MISCHPROBENTYP UND STANDORT	68
TABELLE A 3: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG. ANTEIL DER MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH KATEGORIE, MISCHPROBENTYP UND STANDORT	69
ABBILDUNG 1: ÜBERSICHTSKARTE DER LAGE DER NAWA SPEZ II-BEPROBUNGSSTANDORTE, METEOSTATIONEN UND ABFLUSSMESSSTATIONEN ..	15
ABBILDUNG 2: VERTEILUNG DER ANZAHL HALBTAGE PRO MISCHPROBE, AUFGETEILT NACH STANDORT	18
ABBILDUNG 3: VERANSCHAULICHUNG DER GENERIERUNG DER DELTA-WERTE. DIE ERSTE MISCHPROBE (DUNKELGRAU) BESITZT KEIN DELTA-WERT, DA SIE SICH AUF KEINE ZEITLICH VORANGEHENDE MISCHPROBE BEZIEHEN KANN. ENTSPRECHEND KONNTEN AUCH KEINE DELTA-WERTE VON DEN UMWELTVARIABLEN GEBILDET WERDEN. DIE BLAUE HALBTAGESMISCHPROBE STELLT EINE UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBE DAR, DA SIE EINE ANDERE LÄNGERE MISCHPROBE (HELLGRAU, UNTERBROCHENE LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBE) ZEITLICH ZWETEILT UND FOLGLICH UNTERBRICHT.....	22
ABBILDUNG 4: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMMEN. DIFFERENZ DER PERZENTILE DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT.	28

ABBILDUNG 5: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. DIFFERENZ DER PERZENTILE DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT	29
ABBILDUNG 6: ABFLUSS; MONATSMITTELWERTE. DIFFERENZEN DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT	32
ABBILDUNG 7: MITTLERE PSM-SUMMENKONZENTRATION PRO MONAT, AUFGETEILT NACH STANDORT	38
ABBILDUNG 8: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN OHNE UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN. UNTERTEILT NACH STANDORT UND MISCHPROBENTYP, MARKIERT MIT ANZAHL MISCHPROBEN PRO MISCHPROBENTYP UND STANDORT. AUFFÄLLIG IST DIE ÄHNLICH HOHE ANZAHL MISCHPROBEN DER STANDORTE BERN UND TESSIN SOWIE BASEL UND THURGAU. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE AUSSER STANDORT WALLIS (N TOTAL = 155), UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBEN (N = 47) UND MISCHPROBEN MIT FEHLENDEN PSM-REFERENZWERTEN (N = 14) AUSGESCHLOSSEN.	42
ABBILDUNG 9: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN OHNE ABFLUSSDATEN AM STANDORT WALLIS, UNTERTEILT NACH MISCHPROBENTYP	43
ABBILDUNG 10: VERTEILUNG, ANZAHL UND ANTEILE DER ÜBERGÄNGE DER EINZELNEN MISCHPROBEN GEMÄSS MISCHPROBENTYP (HTMP: HALBTAGESMISCHPROBE, MP >1HT: LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBE (>1 HALBTAG). 47 HTMP UNTERBRECHEN IM ZEITLICHEN VERLAUF ALS ERSTE EINE MP >1HT (20.3% ALLER ÜBERGÄNGE). TOTAL 232 VERGLEICHBARE MISCHPROBEN BZW. 232 ÜBERGÄNGE (100%).	50
ABBILDUNG 11: STANDORT BASEL: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINierter KATEGORIE. STERNSYMBOLS MARKIEREN ANDAUERENDE PHASEN MIT SINKENDEN BELASTUNGEN, BLITZSYMBOLS NICHT DURCH NIEDERSCHLÄGE ERKLÄRBARE BELASTUNGEN.....	53
ABBILDUNG 12: STANDORT BERN: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINierter KATEGORIE. STERNSYMBOLS MARKIEREN ANDAUERENDE PHASEN MIT SINKENDEN BELASTUNGEN, BLITZSYMBOLS NICHT DURCH NIEDERSCHLÄGE ERKLÄRBARE BELASTUNGEN.....	55
ABBILDUNG 13: STANDORT TESSIN: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINierter KATEGORIE. STERNSYMBOLS MARKIEREN ANDAUERENDE PHASEN MIT SINKENDEN BELASTUNGEN, BLITZSYMBOLS MARKIEREN NICHT DURCH NIEDERSCHLÄGE ERKLÄRBARE BELASTUNGEN.	57
ABBILDUNG 14: STANDORT THURGAU: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINierter KATEGORIE.	60
ABBILDUNG 15: STANDORT WALLIS: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU) IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINierter KATEGORIE OHNE ABFLUSSDATEN.....	62
ABBILDUNG A 1: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BASEL	70
ABBILDUNG A 2: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BERN	70
ABBILDUNG A 3: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT THURGAU	71

ABBILDUNG A 4: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT TESSIN	71
ABBILDUNG A 5: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT WALLIS	72
ABBILDUNG A 6: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BASEL	73
ABBILDUNG A 7: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BERN	73
ABBILDUNG A 8: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT THURGAU	74
ABBILDUNG A 9: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT TESSIN	74
ABBILDUNG A 10: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT WALLIS	75
ABBILDUNG A 11: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BASEL, STATION BASEL BINNINGEN	76
ABBILDUNG A 12: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BASEL, STATION BASEL BINNINGEN	76
ABBILDUNG A 13: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT BASEL, DORFBACH ALLSCHWIL.....	77
ABBILDUNG A 14: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BERN, STATION AARBERG	77
ABBILDUNG A 15: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BERN, STATION AARBERG	78
ABBILDUNG A 16: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT BERN, SAGIBACH WORBEN	78
ABBILDUNG A 17: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT TESSIN, STATION MAGADINO CADENAZZO	79
ABBILDUNG A 18: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT TESSIN, STATION MAGADINO CADENAZZO	79
ABBILDUNG A 19: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT TESSIN, CANALE DI BONIFICA.....	80
ABBILDUNG A 20: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT THURGAU, STATION GÜTTINGEN.....	80
ABBILDUNG A 21: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT THURGAU, STATION GÜTTINGEN.....	81
ABBILDUNG A 22: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT THURGAU, STICHBACH BOTTIGHOFEN	81
ABBILDUNG A 23: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT WALLIS, STATION SION	82
ABBILDUNG A 24: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT WALLIS, STATION SION	82
ABBILDUNG A 25: VERTEILUNG DER PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN DER HALBTAGESMISCHPROBEN.....	83
ABBILDUNG A 26: VERTEILUNG DER PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN DER LÄNGER ANDAUERNDEN MISCHPROBEN (>1 HALBTAG).....	83
ABBILDUNG A 27: AUFSUMMIERTE ANZAHL MISCHPROBEN ÜBER ALLE STANDORTE, KATEGORISIERT MITTELS DELTA-PSM- SUMMENKONZENTRATIONEN	84
ABBILDUNG A 28: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-NIEDERSCHLAGSMITTELWERTE ODER KEIN NIEDERSCHLAGSEREIGNIS.....	84
ABBILDUNG A 29: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-ABFLUSSMITTELWERTE.....	85
ABBILDUNG A 30: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-PEGELWERTE	85
ABBILDUNG A 31: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN MIT UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN. UNTERTEILT NACH STANDORT, MISCHPROBENTYP. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE AUSSER STANDORT WALLIS (N TOTAL = 198).	86
ABBILDUNG A 32: KATEGORISIERUNG AM STANDORT WALLIS. MIT UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN.....	87
ABBILDUNG A 33: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM PEGEL AM WEIERBACH MIT ABFLUSS DORFBACH ALLSCHWIL, JEWEILS MIT DEN ABSOLUTEN MESSWERTEN (GANZE BEPROBUNGSZEITSPANNE) UND DEN LOGARITHMIERTEN MESSWERTEN (MÄRZ BIS JUNI 2015, JULI UND AUGUST 2015 AUFGRUND NEGATIVEN PEGELWERTEN AUSGESCHLOSSEN). DATEN WURDEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND GGF. LOGARITHMIERT.....	87

ABBILDUNG A 34: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM PEGEL AM ESCHELISBACH MIT DEN ABFLÜSSEN DES STICHBACHS BOTTIGHOFEN (IM TEIL 1 VERWENDET) UND DES GEUSENBACHS GÜTTINGEN (IM TEIL 2 VERWENDET. PEGELDATEN SIND ERST AB 27.05.2015 VERFÜGBAR (N=194). DATEN WURDEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND GGF. LOGARITHMIERT	88
ABBILDUNG A 35: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM ABFLUSS AM STICHBACH BOTTIGHOFEN MIT DEM ABFLUSS AM GEUSENBACH GÜTTINGEN WÄHREND DER GANZEN BEPROBUNGSZEITSPANNE. DATEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT.	89
ABBILDUNG A 36: KORRELATION ZWISCHEN DEM PEGEL AM WEIERBACH MIT DEM ABFLUSS DES DORFBACHS ALLSCHWIL WÄHREND DER GANZEN BEPROBUNGSZEITSPANNE. DATEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND LOGARITHMIERT	89
ABBILDUNG A 37: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERTEN, SEPARIERT NACH MISCHPROBENTYP	90
ABBILDUNG A 38: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-NIEDERSCHLAGSMITTELWERT	91
ABBILDUNG A 39: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND PEGELSTÄNDEN	92
ABBILDUNG A 40: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-PEGELMITTELWERT.....	93
ABBILDUNG A 41: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND ABFLUSSMITTELWERT	94
ABBILDUNG A 42: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-ABFLUSSMITTELWERT	95

ZUSAMMENFASSUNG

Niederschläge sind häufige und mächtige Auslöser von Pflanzenschutzmittel (PSM) -einträgen in Fließgewässer. Die meteorologischen sowie hydrologischen Bedingungen sind jedoch nicht immer gleich und zeigen eine natürliche jährliche Varianz, welche sich folglich in den Belastungskonzentrationen abbilden kann. Wurden Belastungskonzentrationen während einer Zeitspanne gemessen, in der diese Bedingungen untypisch waren, es also sehr viel oder sehr wenig regnete oder das Fließgewässer ungewöhnlich viel oder wenig Wasser führte, so werden die gemessenen Belastungskonzentrationen über- oder unterschätzt. Die Repräsentativität der gemessenen Konzentrationen kann somit angezweifelt werden. Ziel des ersten Teils dieser Arbeit ist es, die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen während der Beprobungszeitspanne des Projekts NAWA SPEZ II von März bis August 2015 zu untersuchen und im Vergleich zu vorhandenen Zeitreihen zu beurteilen, wie üblich oder typisch diese waren. Das Ziel des zweiten Teils dieser Arbeit ist es, die gemessenen Belastungskonzentrationen NAWA SPEZ II mit den meteorologischen und hydrologischen Bedingungen an den fünf Beprobungsstandorten zu vergleichen und zu überprüfen, inwiefern die Belastungskonzentrationen mit den Niederschlägen und/oder Abflussraten zu erklären sind. So sollen auch mögliche Unterschiede zwischen den beprobten Standorte eruiert werden. Um einschätzen zu können, wie die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen waren, wurden die Lage der Monatswerte prozessrelevanter Umweltvariablen im Jahr 2015 bezüglich der Gesamtverteilung der Daten 1980-2015 beurteilt. Im zweiten Teil wurden die PSM-Summenkonzentrationen von NAWA SPEZ II pro Mischprobe auf potentielle lineare Korrelationen mit den Umweltvariablen Niederschlag, Abfluss und Pegel untersucht. Des Weiteren wurden die PSM-Summenkonzentrationen mit den meteorologischen und hydrologischen Bedingungen pro Mischprobe anhand deren Verhalten im zeitlichen Verlauf (Zunahme/Abnahme) kategorisiert und quantifiziert. Abschliessend wurde der zeitliche Verlauf der PSM-Summenkonzentration, der Niederschläge, Abflussraten und verfügbare Pegelstände pro Standort visualisiert und interpretiert.

Es hat sich gezeigt, dass die Umweltbedingungen an keinem Standort ausschliesslich typische Monatswerte zeigen. Im Mai 2015 fielen überregional leicht bis deutlich mehr Niederschlag als üblich, während auch die mittleren Abflussraten mit Ausnahme am Standort Tessin an allen Standorten untypisch hohe Werte zeigen. Der Juli 2015 war bei allen untersuchten Standorte im Vergleich zur Norm sehr niederschlagsarm. Alle untersuchten Fließgewässer führten im Juli sowie August tiefere bis sehr untypisch tiefe Abflüsse. Die Varianz der Niederschlagsmittelwerte pro variierende Mischprobendauer konnte an keinem Standort die Varianz der PSM-Summenkonzentrationen ausreichend erklären ($R^2 < 0.437$). Einen linearen Zusammenhang konnte nicht festgestellt werden. Korrelationen zwischen Abfluss beziehungsweise Pegel und Belastung waren gemäss diverser wissenschaftlicher Studien zu erwarten, konnten mit den in dieser Arbeit verfügbaren Daten jedoch nur

an einem Standort annähernd bestätigt werden (Standort Tessin, $0.433 < R^2 < 0.712$). Die Resultate der Kategorisierung und Quantifizierung der Mischproben zeigen, dass es beachtliche Unterschiede im Verhalten der Umweltvariablen und den Belastungen zwischen Halbtagesmischproben und länger andauernden Mischproben gibt. Halbtagesmischproben zeigen vermehrt ansteigende Werte aller untersuchten Parameter, während länger andauernde Mischproben häufiger ein sinkendes Verhalten der Parameter zeigen. Im überregionalen Vergleich ist am Standort Tessin der grösste Anteil an niederschlagsgetriebener Belastungen festzustellen, welche am ehesten Belastungen aus diffusen Quellen repräsentieren. Am Standort Thurgau hingegen zeigen die meisten Mischproben bei ausbleibendem Niederschlag erwartungsgemäss sinkende Abflüsse und sinkende PSM-Summenkonzentrationen.

1 EINLEITUNG

In den letzten Jahrzehnten hat sich die Verwendung von Agrochemikalien in der konventionellen Landwirtschaft für garantierte Ernteerträge und stabile optische Qualitäten der Feldfrüchte bewährt. Die toxischen Effekte von Pflanzenschutzmitteln (PSM) sollen jedoch alleinig auf dem Feld wirken und dort die Feldfrüchte von unerwünschten Organismen schützen. Diese Stoffe können jedoch in Oberflächengewässer wie Bäche, Flüsse und Seen gelangen, wo ihre andauernde Wirkung unerwünscht ist. Verschiedene wissenschaftliche Arbeiten zeigen, dass Schweizer Gewässer erheblich durch gelöste PSM aus der Landwirtschaft belastet sind. Es zeigen sich Konzentrationen von PSM in Schweizer Fließgewässern, welche die Anforderungen an die Gewässerqualität, die durch die Gewässerschutzverordnung geregelt ist, teilweise bei weitem überschreiten (Doppler et al. 2017; Moschet et al. 2015; Wittmer et al. 2014). Um mögliche unerwünschte Wirkungen auf aquatische Organismen und den Menschen zu vermeiden, ist es wichtig, die stimulierenden Faktoren und Bedingungen der Eintragsprozesse von PSM in Gewässer zu erforschen und zu verstehen.

Diese Masterarbeit ist im Rahmen eines Forschungsprojektes namens NAWA SPEZ II angesiedelt, das vom Bundesamt für Umwelt (BAFU) in Zusammenarbeit mit den kantonalen Behörden, der Eawag Dübendorf, der VSA-Plattform Wasserqualität sowie dem Ökotoxzentrum der Eawag durchgeführt worden ist. Ziel dieses Projekt ist es, den Zustand und die Entwicklung der Schweizer Oberflächengewässer methodisch einheitlich zu analysieren, dokumentieren und zu beurteilen (BAFU 2016). Im Projekt NAWA SPEZ II untersuchten Wissenschaftler an der Eidgenössischen Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (Eawag) an fünf kleinen Fließgewässern in den Kantonen Basel-Landschaft, Bern, Tessin, Thurgau und Wallis PSM-Konzentrationen in landwirtschaftlich intensiv genutzten Gebieten. Ziel war es, Spitzenkonzentrationen von PSM zu erfassen. Die Messstellen wurden so ausgewählt, dass eine möglichst grosse Vielfalt an landwirtschaftlichen Produkten und ihre entsprechend pflanzenspezifischen PSM erfasst werden können (Doppler et al. 2017).

Der Prozess von PSM-Einträgen in Gewässer wird von vielen Faktoren und Abhängigkeiten gesteuert und bedingt und ist dadurch sehr komplex. Bereits die unterschiedlichen chemischen und physikalischen Eigenschaften der angewendeten PSM beeinflussen durch variierende Adsorptionseigenschaften die Mobilitätseigenschaften der applizierten Chemikalien (Doppler et al. 2012; Müller et al. 1999). Weitere lokal bedingte Faktoren wie die Form der Landnutzung, Bodeneigenschaften, Topographie sowie Lage und Eigenschaften der Entwässerungssysteme haben ebenfalls einen Einfluss. Hauptsächlich sind die lokalen Klimabedingungen sowie die PSM-Applikationszeitpunkte und –Mengen die entscheidenden Parameter, welche das raum-zeitliche Eintragsmuster

von PSM stark beeinflussen (Doppler et al. 2012; Leu et al. 2004b; Moschet et al. 2014; Munz et al. 2012; Ng & Clegg 1997).

Man unterscheidet konzeptuell zwischen zwei verschiedenen PSM-Quellen, welche jedoch in der wissenschaftlichen Literatur nicht immer gleich definiert werden. Die häufigsten und anteilmässig grössten PSM-Einträge in Gewässer wirken von den Ackerflächen aus, wo PSM erfolgreich appliziert wurden (Leu et al. 2004b; Ng & Clegg 1997). Diese PSM-Einträge stammen von diffusen Quellen, werden durch Niederschlagsereignisse mobilisiert und können bei kleinen Fliessgewässern aus Einzugsgebieten mit intensiver landwirtschaftlicher Produktion den grössten Anteil der Belastung ausmachen (Leu et al. 2010). Im Gegensatz zu diffusen Quellen wirken Punktquellen von PSM-Einträgen von einer bestimmten Stelle statt einer Fläche aus. Zum Beispiel können PSM, die bei der Füllung oder Reinigung der landwirtschaftlichen PSM-Applikationsutensilien verschüttet werden, durch Oberflächenabfluss in angrenzende Gewässer eingetragen und dort zu kurzzeitigen Spitzenkonzentrationen führen. Auch werden Ausläufe von Abwasserreinigungsanlagen als Punktquelle definiert, können jedoch bei den beprobten Fliessgewässern in NAWA SPEZ II ausgeschlossen werden. Eine weitere Möglichkeit, wie PSM in Gewässer gelangen können, ohne bereits auf den Ackerflächen ihre gewünschte Wirkung entfaltet zu haben, ist der sogenannte spray drift. Bei der Applikation über den Ackerflächen kann der entstehende wässrige Sprühnebel durch Windböen von der Zielfläche abgelenkt und/oder aufgrund ungenügendem Abstand zu den Ackerflächenränder in anliegende Gewässer direkt eingetragen werden (Frey et al. 2009; Müller et al. 1999). Diese Auswahl an PSM-Eintragsmöglichkeiten sind durch menschliches Versagen geschuldet, sind nicht unmittelbar durch Niederschläge beeinflusst und könnten durch sorgfältigeren Umgang und effizientere Applikationstechniken vermieden werden.

Auf Niederschlagsereignisse hat der Mensch jedoch keinen direkten Einfluss. Diese sind jedoch häufige und mächtige Auslöser von PSM-Einträgen in Gewässer. Diverse Forschungsprojekte zeigen, dass das Niederschlagsregime, also die Niederschlagszeitpunkte, die Niederschlagsmengen und die Niederschlagsintensität einen sehr grossen Einfluss auf PSM-Einträge in Gewässer haben (Capel & Larson 2001; Doppler et al. 2012; Leu et al. 2004b; Leu et al. 2005; Ng & Clegg 1997). Je nach Niederschlagsintensität, Bodenwassersättigung, Bodenbeschaffenheit und Topografie können einsetzende Niederschläge in Oberflächen- und/oder Zwischenabflüsse resultieren, wonach sie via Oberflächenabfluss, künstliche Drainagen und/oder Leitungen in Oberflächengewässer eingetragen werden (Munz et al. 2012). In der wissenschaftlichen Literatur wird zwischen zwei Prozessen unterschieden, wie Niederschläge zu Oberflächenabflüssen führen. Ist der Boden bereits komplett mit Wasser gesättigt beziehungsweise erreicht der Bodenwasserspiegel die Oberfläche, können alle zusätzliche Niederschläge unabhängig ihrer Intensität unmittelbar zu Oberflächenabfluss führen. Ist der Boden hingegen noch ungesättigt, kann die Regenintensität die Infiltrationskapazität überschreiten. Dabei liefern

Starkniederschläge beziehungsweise hohe Niederschlagsintensitäten von kurzer Dauer in kürzester Zeit grössere Regenmengen, als der Boden in dieser Zeit zu infiltrieren vermag (Doppler et al. 2012; Horton 1933). Intensive Gewitter können somit ausschlaggebend sein, um grosse Anteile an applizierten PSM zu mobilisieren, vor allem, wenn diese Ereignisse in zeitlichen geringen Abständen nach den Applikationszeitpunkten der PSM erfolgen (Müller et al. 1999; Neumann et al. 2002; Leu et al. 2005; Shipitalo & Owens 2003).

Die Belastungen in Fliessgewässer können jedoch nur limitiert durch Niederschlagsereignisse interpretiert werden. Um die PSM-Eintragsprozesse und die folgenden Belastungskonzentrationen besser nachvollziehen zu können, müssen Abflussraten der entsprechenden Fliessgewässer mituntersucht werden. Die Abflussraten kleiner Fliessgewässer können zudem deutliche Korrelationen bei hoher zeitlichen Auflösung mit PSM-Konzentrationen zeigen (Leu et al. 2004a; Leu et al. 2004b). Auch die Abflüsse anschliessender, grösseren Fliessgewässern können trotz grösseren totalen Abflussraten immer noch Korrelationen mit der Belastung zeigen (Singer 2005), da die Anteile des PSM-relevanten Oberflächen- und Zwischenabflusses zum totalen Abfluss im Vergleich zu denen von kleineren Fliessgewässer vergleichbar hoch bleiben.

Hypothesen

Wie bereits erwähnt, zeigen verschiedenste Forschungsarbeiten die Relevanz der meteorologischen und hydrologischen Bedingungen in Bezug auf die Interpretation von PSM-Einträge in Gewässer auf. Darum stützt sich die ganze vorliegende Arbeit auf folgenden zwei zentralen, übergeordneten Hypothesen:

- i. Niederschlagsereignisse sind Auslöser von PSM-Einträgen.
- ii. Abflussraten korrelieren positiv mit PSM-Konzentrationen.

Zusätzlich wird von folgenden, detaillierteren Hypothesen ausgegangen:

- iii. Je mehr Niederschlag fällt, umso höher sind die Belastungskonzentrationen zu erwarten.
- iv. Hohe Niederschlagsintensitäten (Gewitter) führen zu speziell hohen Belastungen.

Ziele

Im erster Teil dieser Arbeit sollen die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen an den Beprobungsstandorten während der Beprobungszeitspanne analysiert und beurteilt werden. Ziel ist es, im Vergleich zu vorhandenen Zeitreihen Aussagen über das Verhalten ausgewählter prozessrelevanter Klimavariablen und Abflussraten in der Beprobungszeitspanne März bis August 2015 an den fünf Beprobungsstandorten des NAWA SPEZ II-Projektes zu machen. Da Niederschläge wichtige Auslöser von PSM-Einträge sind und jährlich sowie saisonal variieren können, ist es möglich, dass aufgrund „untypischer“

klimatischen oder hydrologischen Bedingungen während der Beprobungszeitspanne im Jahr 2015 (zum Beispiel zu viel oder zu wenig Niederschlag, sehr viel oder sehr wenig Abfluss) die gemessenen Belastungskonzentrationen höher oder tiefer ausfallen, als eigentlich unter typischen Bedingungen erwartet werden kann. Falls diese Bedingungen im ersten Teil als „untypisch“ beurteilt wurden, so wäre die gemessenen PSM-Konzentrationen NAWA SPEZ II nicht repräsentativ für die spezifische Belastung der untersuchten Fließgewässer in einem typischen Jahr.

Ziel des zweiten Teils der Arbeit ist es, die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen mit den gemessenen Belastungskonzentrationen der Mischproben zu vergleichen. Es soll untersucht werden, wie sich die gemessenen PSM-Konzentrationen mit den meteorologischen und hydrologischen Bedingungen verhalten und ob die klimatischen und hydrologischen Variablen erwartungsgemäss mit den gemessenen PSM-Summenkonzentrationen zusammenhängen beziehungsweise korrelieren. Zusätzlich sollen Anstiege und Senkungen der untersuchten Parameter pro Mischprobe im Bezug zur zeitlich vorangehenden Mischprobe zu verschiedenen Kategorien zusammengefasst, quantifiziert und interpretiert werden. Zum Schluss wurde jeweils pro Standort das Verhalten der Parameter im zeitlichen Verlauf visualisiert, interpretiert und diskutiert.

1.1 GEBIETSBESCHREIBUNG

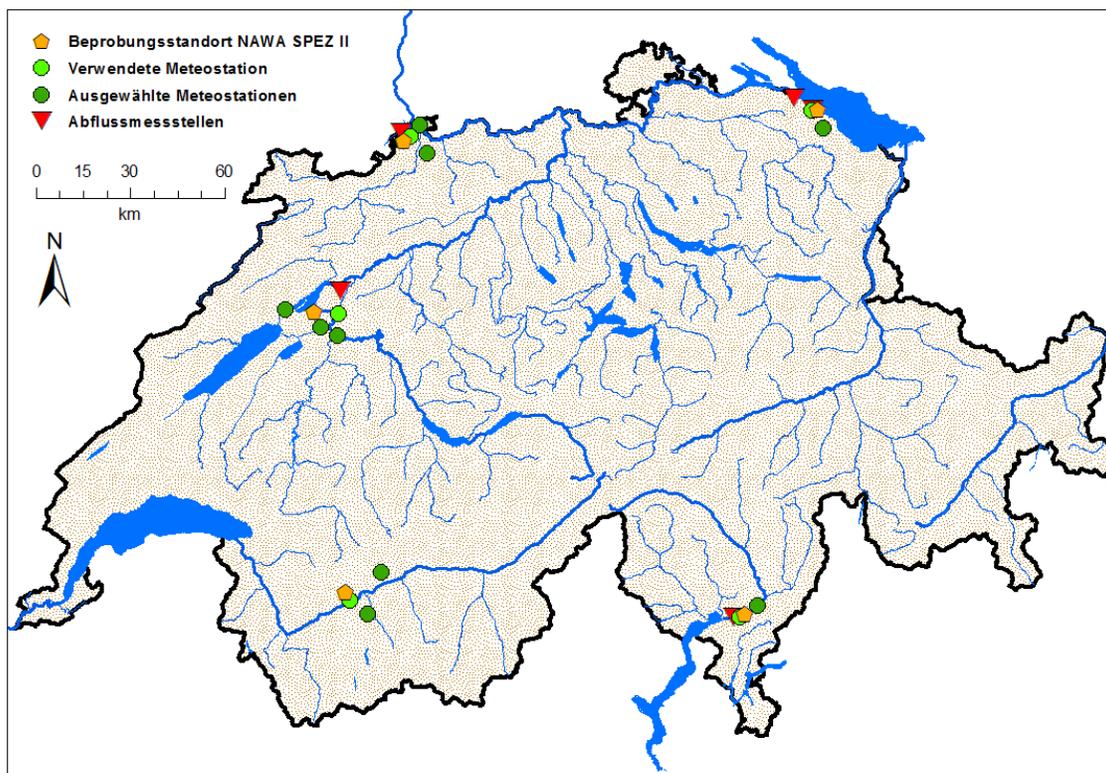


ABBILDUNG 1: ÜBERSICHTSKARTE DER LAGE DER NAWA SPEZ II-BEPROBUNGSSTÄNDE, METEOSTATIONEN UND ABFLUSSMESSSTATIONEN

TABELLE 1: ÜBERBLICK DER AUSGEWÄHLTEN MESSSTATIONEN AN DEN JEWEILIGEN BEPROBUNGSSTANDORTEN. HELLGELB MARKIERT SIND DIE STATIONEN, DIE AUFGRUND HÖHERER ZEITLICHEN AUFLÖSUNG (CRESSIER) ODER GERINGERER RÄUMLICHEN DISTANZ ZU DEM BEPROBUNGSSTANDORT (GEUSENBACH GÜTTIGEN) IM TEIL 2 VERWENDET WURDEN.

Beprobungsstandort	Beprobtes Fließgewässer NAWA SPEZ II (Belastungs- und Pegeldata)				Meteostation (Niederschlagsdaten)			Abflussmessstation (Abflussdaten)			
	Name	Fläche Einzugsgebiet ¹	Flussordnungszahl nach Strahler ²	Qualität Pegeldata	Name	Distanz zu Beprobungsstandort ³	Höhenlage	Name	Distanz zu Beprobungsstandort ³	Datenverfügbarkeit	Flussordnungszahl nach Strahler ²
BL	Weierbach	1,6 km ²	1	Gut und vollständig	Basel Binningen	2,500 km	316 m.ü.M	Dorfbach Allschwil	2,764 km	1984-2015	NA
BE	Mooskanal	3,4 km ²	2	Un- genügend, nicht verwendet	Aarberg	7,735 km	493 m.ü.M	Sagibach Worben	10,647 km	1996-2015	3
					Cressier	9,189 km	431 m.ü.M				
TI	Canale di Bonifica	9,0 km ²	4	Gut und vollständig	Magadino Cadenazzo	1,877 km	203 m.ü.M	Canale di Bonifica	3,653 km	1980-2015	4
TG	Eschelisbach	2,0 km ²	2	Gut aber unvollständig	Güttingen	1,808 km	440 m.ü.M	Stichbach Bottighofen	8,240 km	1993-2015	4
								Geusenbach Güttingen	1,586 km	2015	1
VS	Tsatonire	2,4 km ²	1	Un- genügend, nicht verwendet	Sion	2,807 m	482 m.ü.M	NA	NA	NA	NA

1.2 DATEN

Niederschlag

In dieser Arbeit wurde als Datengrundlage mit Niederschlags-Tagessummen (von 05.40 Uhr eines Kalendertages bis 05.39 Uhr des Folgetages), Niederschlags-Stundensummen und der grössten Stundensumme pro Kalendertag sowie deren Parameter zur Berechnung dessen Wiederkehrperioden gearbeitet. Diese stammen von MeteoSchweiz (MeteoSchweiz 2016a; MeteoSchweiz 2016b).

¹ Doppler 2016

² BAFU 2015b

³ Manuelle Vermessung der Geodaten mit ESRI ArcMap, gerundet

Pegel

Während der Feldarbeiten NAWA SPEZ II wurden die Pegelstände der Fliessgewässer unmittelbar zum genauen Probeentnahmepunkt im Zehnminutentakt registriert. Die Verfügbarkeit und Vollständigkeit der Pegeldaten variiert je nach Standort. Am Standort Basel und Tessin sind die Daten vollständig und für die in dieser Arbeit vorgesehenen Analysen brauchbar. Am Standort Thurgau sind die Pegelstände brauchbar, aber erst ab Ende Mai 2015 verfügbar. Am Standort Bern und Wallis sind die Pegeldaten stark von Artefakten geprägt (teilweise wurde das Wasser im z.B. im Mooskanal durch Schleusen gestaut) und wurden von den folgenden Analysen ausgeschlossen.

Abfluss

Die Originaldaten der Abflüsse liegen mit Abstraten von 10 min (Standort BL: Dorfbach Allschwil), 15 min (Standort TG: Geusenbach Güttingen, 5 min und 15 min beim Stichbach Bottighofen), 30 min (Standort BE: Sagibach Worben) und Tagesmittelwerten (Standort Tessin: Canale di Bonifica) vor. Es wurden keine Abflussdaten an den Beprobungsstandorten im Rahmen von NAWA SPEZ II erhoben. Die Abflussdaten in dieser Arbeit stammen von den kantonalen Ämtern der verantwortlichen Behörden der Kantone Basel Land, Bern (Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern 2016), Tessin und Thurgau. Abflussdaten zu den entsprechenden beprobten Fliessgewässern NAWA SPEZ II gibt es nur für den Canale di Bonifica (Standort Tessin). An allen anderen Standorten muss auf Abflussdaten von anderen, möglichst räumlich naheliegenden Abflussmessstationen vergleichbarer grosser Fliessgewässer zurückgegriffen werden (vgl. Tab. 1). Im Kanton Wallis wurden keine Daten eines geeigneten Alternativ-Fliessgewässers gefunden.

PSM-Belastungen

Im Projekt NAWA SPEZ II wurden fünf kleine Fliessgewässer an fünf verschiedenen Standorten auf 223 verschiedene Chemikalien beprobt. Es wurde alle 45 min eine Teilprobe genommen und à 16 Stück zu Halbtagesmischproben (12 Stunden) vermischt. Diese Halbtagesmischproben wurden wiederum aufgrund hohem labor-analytischem Aufwand teilweise zu längeren Mischproben zusammengemischt, deren Zeitspanne von einem Tag bis 24 Tagen variiert (vgl. Abb. 2). Dies erfolgte meistens bei Phasen ohne Niederschlag. Knapp die Hälfte aller analysierten Proben wurden nicht zu längeren Zeitspannen vermischt und blieben Halbtagesmischproben. Diese wurden bei Zeitspannen mit ansteigenden Pegelständen oder einsetzenden Niederschlagsereignissen separat analysiert, um kurzzeitige Spitzenkonzentrationen erfassen zu können. Im ganzen wurden 249 Mischproben (104 Halbtagesmischproben und 145 länger andauernde Mischproben) auf PSM analysiert (Doppler et al. 2017).

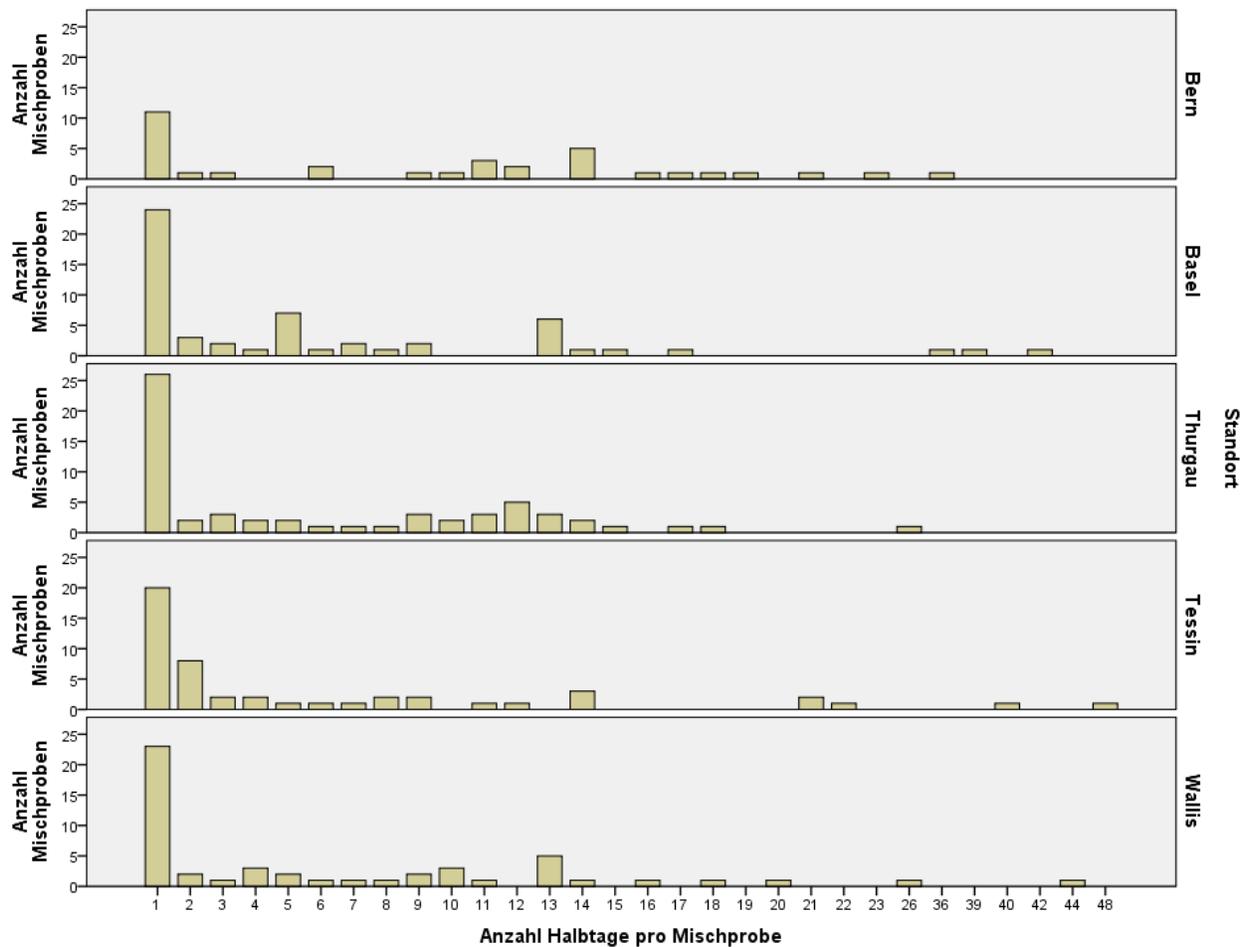


ABBILDUNG 2: VERTEILUNG DER ANZAHL HALBTAGE PRO MISCHPROBE, AUFGETEILT NACH STANDORT

NAWA SPEZ II war keine Prozessstudie bezüglich PSM-Einträgen in Fliessgewässer. Darum ist die zeitliche Auflösung der Belastungskonzentrationen eher tief und beträgt höchstens zwölf Stunden (Halbtagesmischproben). Aufgrund des hohen Anteils an Halbtagesmischproben (42% aller Mischproben) wurde in den folgenden Analysen zwischen den zwei Mischprobentypen Halbtagesmischproben und länger andauernden Mischproben (>1 Halbtage) unterschieden. Der grösste Teil der länger andauernden Mischproben hat eine Zeitspanne von bis zu 14 Halbtagen. Es gibt 26 längere Mischproben von einer Dauer von mehr als einer Woche (vgl. Abb. 2).

TABELLE 2: ANZAHL UND ANTEIL ALLER MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH MISCHPROBENTYP UND STANDORT

Standort	Halbtagesmischproben		Mischproben >1 Halbttag		Alle Mischproben	
	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil	Anzahl	Anteil
BE	11	32%	23	68%	34	100%
BL	24	44%	31	56%	55	100%
TG	26	43%	34	57%	60	100%
TI	20	41%	29	59%	49	100%
VS	23	45%	28	55%	51	100%
Alle Standorte	104	42%	145	58%	249	100%

Eine Unterscheidung nach verschiedenen PSM ist in dieser Arbeit nicht zielführend. Im Folgenden wird darum nicht zwischen verschiedenen PSM unterschieden, obwohl deren Zusammensetzung pro Standort erwartungsgemäss stark variieren kann (Doppler et al. 2017). Für alle Analysen wurde ausschliesslich die aufsummierten Konzentration aller als PSM, Biozid oder als PSM und Biozid zugelassene Stoffe verwendet (PSM-Summenkonzentration).

1.3 STATISTISCHE METHODEN

Um die Belastungsdaten mit den Umweltvariablen Niederschlag, Abfluss und Pegel vergleichen zu können, wurden diese entsprechend der zeitlichen Auflösung der Mischproben, also pro unterschiedlich langer Mischprobendauer, zu Mittelwerten aggregiert.

Einschätzung der meteorologischen und hydrologischen Bedingungen

Um die meteorologischen Bedingungen an den Probeentnahmestellen beurteilen zu können, wurden pro Standort zwei bis vier Meteostationen ausgewählt, die die kleinsten räumlichen Distanzen zu den Beprobungsstandorten aufweisen. Bei allen Standorten ausser im Thurgau und im Wallis wurden keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Stationen pro Standort festgestellt (vgl. Abb. A 1 bis A 10). Es wurde jeweils diejenige Meteostation weiter verwendet, die den geringsten räumlichen Abstand zum Probeentnahmestandort hat. So kann am ehesten garantiert werden, dass die jeweilige Station die meteorologischen Bedingungen am Probeentnahmestandort bestmöglich repräsentiert.

Um die Niederschlagsmengen und die Intensität der Niederschläge pro Monat einschätzen zu können, wurden aus der Datengrundlage folgende Umweltvariablen generiert:

- Niederschlag; Monatssummen [mm]
- Niederschlag; Anzahl Regentage pro Monat

Zudem wurden die Abflussraten der beprobten Fliessgewässer oder der Alternativ-Fliessgewässer analysiert:

- Abfluss; Monatsmittelwert [m³/s]

Die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen wurden während der Beprobungszeitspanne NAWA SPEZ II von März bis August 2015 analysiert und im Vergleich zu einer Normzeitreihe beurteilt. Dazu wurden die Klimavariablen und Abflussraten der Beprobungszeitspanne (Werte 2015) mit den Lagemassen der Normwerte (1980-2015) jeweils pro Monat verglichen.

Berechnung der Wiederkehrperioden

Die Extremwertstatistik beschäftigt sich mit dem Verhalten von Minimas und Maximas, also mit den unteren und oberen Enden einer Verteilungskurve. Man geht davon aus, dass Ereignisse auch mit geringer Häufigkeit in der Grundgesamtheit einer gewissen, unbekanntem Verteilung folgen, die mittels der vorhandenen empirischen Daten (Stichprobe) annähernd geschätzt werden kann. Diese Verteilung nennt sich generalisierte Extremwertverteilung $G(z_p)$ (Generalized Extreme Value Distribution GEV).

$$G(z_p) = \exp\left(-\left\{1 + \xi\left(\frac{z_p - \mu}{\sigma}\right)\right\}^{-\frac{1}{\xi}}\right)$$

Für die gilt: $-\infty < \mu < \infty$, $\sigma > 0$ und $-\infty < \xi < \infty$.

Die unabhängige Variable z_p repräsentiert die vorhandenen Datenpunkte (grösste Niederschlagsstundensummen pro Tag), welche eine entsprechende Eintretenswahrscheinlichkeit p besitzen. Die Parameter μ, σ und ξ (Lage, Skala und Form) bestimmen das Verhalten der generalisierten Extremwertverteilungskurve $G(z_p)$ und werden beispielsweise mithilfe der Maximum-Likelihood-Methode so gewählt, dass $G(z_p)$ bestmöglich das Verhalten der vorhandenen Datenpunkte z_p beschreibt (Umbricht et al., 2013).

Die jährliche Wiederkehrperiode m ist eine beliebte Einheit zur Umschreibung der Häufigkeit von bestimmten Ereignissen. Mit ihr lässt sich die Wahrscheinlichkeit p pro Jahr, dass ein Ereignis z_p überschritten wird, in Jahren [y] verdeutlichen, wobei gilt:

$$m = \frac{1}{p}$$

Zusätzlich gilt:

$$G(z_p) = 1 - p$$

Setzt man Werte für z_p in $G(z_p)$ ein und sind die GEV-Parameter μ, σ und ξ bekannt, so kann man die Wahrscheinlichkeit p eines Wiederkehrwertes z_p und daraus die Wiederkehrperiode m berechnen. Fukutome & Schindler (2015) ermittelten für die MeteoSchweiz-Klimastationen und deren entsprechende Datenreihen die jeweiligen GEV-Parameter μ, σ und ξ . Dazu verwendeten sie jeweils den grössten jährlichen Wert der grössten Stundensumme pro Tag in den Jahren 1981 bis 2015 als z_p und erhalten jeweils $n=35$ Datenpunkte z_p , mit denen sie die $G(z_p)$ zur jeder Meteostation fitteten (Fukutome & Schindler, 2015). Mithilfe dieser Verteilungsfunktionen $G(z_p)$ für jede Meteostation und ihre individuellen Parametern μ, σ und ξ wurden die Wiederkehrperioden der grössten Stundensummen im Jahr 2015 an den relevanten Meteostationen berechnet und Kapitel 2.1.6.3 aufgeführt.

Delta-Werte

Bei den folgenden statistischen Analysen und Kategorisierungen wird zwischen absoluten Werten und Delta-Werten einer Mischprobe unterschieden. Um die Dynamik der Abhängigkeiten zwischen der Summenkonzentration und den Umweltvariablen Niederschlag und Abfluss/Pegel im Einbezug der zeitlichen Dimension zu analysieren, wurde verglichen, wie stark sich ein Wert einer Mischprobe im Vergleich zum Wert der zeitlich vorangehenden Mischprobe unterscheidet (Differenz). Dazu wurden die Delta-Werte der Parameter PSM-Summenkonzentration, Niederschlagsmittelwert, Abflussmittelwert und Pegelmittelwert wie folgt gebildet:

$$\begin{aligned} & \textit{Betrachteter Wert (absoluter Wert) einer Mischprobe} \\ & - \textit{zeitlich vorhergehender Wert (absoluter Wert) einer Mischprobe} \\ & = \textit{Delta - Wert}_{\textit{betrachteter Wert}} [+,-] \end{aligned}$$

Ein positives Vorzeichen der Delta-Werte bedeutet somit eine Zunahme, ein negatives Vorzeichen folglich eine Abnahme des betrachteten (Mittel-)wertes im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe, unabhängig des Mischprobentyps. Folgende Illustration (Abb. 2) veranschaulicht das Vorgehen der Generierung der Delta-Werte.

Die Delta-Werte von Halbtagesmischproben, welche im zeitlichen Verlauf als erste eine länger andauernde Mischprobe unterbrechen, beziehen ihren Referenzwert auf die umschliessende unterbrochene Mischprobe. Die Charakterisierung der Parameterwerte dieser Halbtagesmischproben als „ansteigend“ bzw. „sinkend“ ist heikel, da dies eine chronologische Abfolge zeitlich geschlossener Mischproben impliziert. Die Mittelwerte solcher länger andauernden unterbrochenen Mischprobe wurden jedoch mit Werten berechnet, die nicht nur

chronologisch *vor*, sondern auch chronologisch *nach* diesen Halbtagesmischprobe liegen (vgl. Abb. 3). Darum wurden Halbtagesmischproben, welche eine andere Mischprobe zeitlich unterbrechen, aus der Analyse der Quantifizierung der kombinierten Kategorisierung ausgeschlossen, bei allen anderen Analysen wurden sie miteinbezogen.

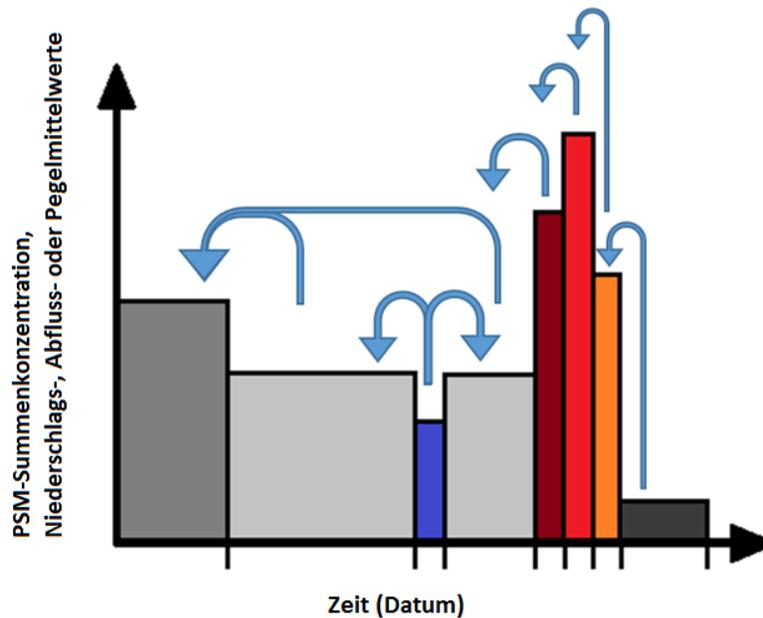


ABBILDUNG 3: VERANSCHAULICHUNG DER GENERIERUNG DER DELTA-WERTE. DIE ERSTE MISCHPROBE (DUNKELGRAU) BESITZT KEIN DELTA-WERT, DA SIE SICH AUF KEINE ZEITLICH VORANGEHENDE MISCHPROBE BEZIEHEN KANN. ENTSPRECHEND KONNTEN AUCH KEINE DELTA-WERTE VON DEN UMWELTVARIABLEN GEBILDET WERDEN. DIE BLAUE HALBTAGESMISCHPROBE STELLT EINE UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBE DAR, DA SIE EINE ANDERE LÄNGERE MISCHPROBE (HELLGRAU, UNTERBROCHENE LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBE) ZEITLICH ZWEIFELT UND FOLGLICH UNTERBRICHT.

Von total 249 Mischproben (104 Halbtagesmischproben und 145 länger andauernde Mischproben) konnten von mindestens 17 Mischproben aufgrund fehlenden PSM-Summenkonzentrationsreferenzwerten keine Delta-Werte gebildet werden (232 vergleichbare Mischproben), da bei diesen Mischproben zeitlich keine Mischprobe voran geht. Dies war jeweils am Anfang der Beprobungszeitspanne der Fall und falls vereinzelte PSM-Summenkonzentrationsdaten während der Beprobungszeitspanne fehlten.

Korrelationsanalyse

In Anbetracht der Überprüfung möglicher Zusammenhänge der PSM-Summenkonzentrationen mit den Umweltvariablen gemäss den Hypothesen wurden die Parameter auf lineare Korrelationen untersucht. Entsprechend wurden auch die Delta-Werte der Parameter auf Korrelationen getestet (Delta-PSM-Summenkonzentration mit entsprechendem Delta-Niederschlagsmittelwert, Delta-Abfluss- oder Delta-

Pegelmittelwert). Dies wurde mittels linearen Regressionsgeraden und entsprechenden Korrelationskoeffizienten R^2 überprüft.

Kategorisierung und Quantifizierung der Mischproben

Im Anbetracht der unterschiedlichen Eintragungswege von PSM in Gewässer wurden die einzelnen Mischproben gemäss der Zu- oder Abnahme ihrer Parameter (negativer oder positiver Delta-Wert) im Vergleich zum zeitlich vorangehenden Wert zu verschiedenen Kategorien kategorisiert. Anhand der Vorzeichen der Delta-Werte wurden folgende Kategorien gebildet, wobei beim Niederschlag neben dem Attribut *Zunahme* oder *Abnahme* noch das zusätzliche Attribut *Kein Niederschlagsereignis* (Niederschlagsmittelwert pro Mischprobe = 0mm) untersucht wurde:

- Delta-Niederschlagsmittelwert (Zunahme/Abnahme/Kein Niederschlagsereignis)
- Delta-Abflussmittelwert (Zunahme/Abnahme)
- Delta-Pegelmittelwert (Zunahme/Abnahme)

Das Verhalten dieser Umweltvariablen wurde mit dem Verhalten der Belastungskonzentrationen verglichen:

- Delta-PSM-Summenkonzentration (Zunahme/Abnahme)

Diese Kategorien wurden zu allen möglichen Kombinationen zu zwölf kombinierten Kategorien zusammengestellt (kombinierte Kategorisierung, vgl. Tab. 5).

Aufgrund teilweise unvollständigen Pegeldaten wurde die kombinierte Kategorisierung nur mit Abflussdaten durchgeführt. Am Standort Wallis konnte die kombinierte Kategorisierung aufgrund fehlenden Pegel- sowie Abflussdaten nur mit den Delta-Niederschlagsmittelwerten durchgeführt werden. Falls nicht explizit erwähnt, beziehen sich die Vergleiche und Verhältnisse im Teil Resultate nur auf die kategorisierbaren Mischproben (Mischproben mit fehlenden PSM-Referenzdaten ausgeschlossen). Eine tabellarische Auflistung der Anzahl und Anteile der kombinierten Kategorien pro Standort und Mischprobentyp ist im Anhang zu finden (vgl. Tab. A 2 resp. A 3). Alle Daten wurden mit SPSS (IBM© SPSS© Statistics, 2015) aufbereitet, manipuliert und visualisiert.

2 RESULTATE UND DISKUSSION

Legitimation der Auswahl der Alternativ-Fliessgewässer

Aufgrund unterschiedlich grosser Einzugsgebiete, unterschiedlichen terrestrischen Bedingungen, verschiedener Flussordnungszahlen und der räumlichen Distanz ist es wahrscheinlich, dass die Abflüsse der ausgewählten Alternativ-Fliessgewässer nicht genau gleich sind wie die Abflüsse der beprobten Fliessgewässer NAWA SPEZ II (keine Abflussdaten gemessen). Es wurde jedoch davon ausgegangen, dass aufgrund von ähnlichen Flussordnungszahlen und geringen räumlichen Distanzen das Abflussregime der Alternativ-Fliessgewässer im Vergleich zu den beprobten Fliessgewässern NAWA SPEZ II zumindest ähnlich ist. Um die Auswahl der Alternativ-Fliessgewässer zu legitimieren, wurden die Abflussraten der Alternativ-Fliessgewässer an den Standorten Basel und Thurgau mit den Pegelständen der Fliessgewässer NAWA SPEZ II während der Beprobungszeitspanne auf Korrelationen untersucht.

Sollen Pegel- und Abflussdaten auf Korrelationen analysiert werden, werden sie dazu häufig zuerst logarithmiert, damit sie mit einer linearen Regressionsanalyse untersucht werden können (Dymond & Christian 1982; Mimikou 1982). Am Standort Basel zeigt sich eine annehmbar gute lineare Korrelation der logarithmierten Pegeldaten mit den logarithmierten Abflussraten des Dorfbachs Allschwils ($R^2 = 0.695$), wenn die negativen Pegeldaten im Juli und August ausgeschlossen werden (Logarithmus von negativen Zahlen ist nicht definiert). Am Standort Thurgau wurde der Stichbach Bottighofen (im Teil 1 verwendet) und der Geusenbach Güttingen (Abflussmesstation räumlich näher am Beprobungsstandort sowie Daten im 2015 verfügbar, im Teil 2 verwendet) untersucht. Hier korrelieren die Pegeldaten NAWA SPEZ II des Eschelisbachs deutlich mit den Abflussraten beider Fliessgewässer ab Ende Mai 2015 bis Ende August. Beide Alternativ-Fliessgewässer zeigen einen sehr ähnlich hohen linearen Korrelationskoeffizienten (Geusenbach Güttingen: $R^2 = 0.848$, Stichbach Bottighofen: $R^2 = 0.852$, vgl. Abb. A 33 bis A 36).

Die Abflussraten dieser zwei Thurgauer Fliessgewässer wurden zusätzlich untereinander auf Korrelationen getestet. Ein Vergleich der Abflüsse dieser beiden Fliessgewässer während der Beprobungszeitspanne zeigt eine annähernd perfekte lineare Korrelation ($R^2 = 0.947$). Eine genauere Betrachtung zeigt, dass der Stichbach Bottighofen bei Abflussraten von ca. 0.7 bis 1.0 m³/s leicht mehr variiert als der Geusenbach Güttingen. Beide Fliessgewässer kommen somit als Alternativ-Fliessgewässer für den Eschelisbach am Standort Thurgau in Frage. Die Verwendung der Abflussraten der Alternativ-Fliessgewässer an den Standorten Basel sowie am Standort Thurgau für den Teil 1 ist gemäss der durchgeführten Korrelationsanalysen gerechtfertigt.

2.1 EINSCHÄTZUNG DER METEOROLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN BEDINGUNGEN (TEIL 1)

2.1.1 *STANDORT BASEL*

Die untersuchten Klimavariablen zeigen, dass die meteorologischen Bedingungen am Standort Basel im Jahr 2015 bezüglich Niederschlags-Monatssummen mit einer Ausnahme im typischen Bereich liegen (Werte im Interquartilbereich, Ausnahme Juli). Die Monatssummen liegen jedoch im Mai und im Juni deutlich über dem Normmedian. Zudem gab es während der gesamten Zeitperiode weniger Regentage als eigentlich üblich. Je nach betrachtetem Monat und dessen entsprechender Niederschlags-Monatssumme kann dies in höheren Niederschlagsmengen pro Regentag resultieren (Monatssumme/Anzahl Regentage-Verhältnis). Dies ist zum Beispiel im April und Juni 2015 der Fall, in welchen eher höhere Niederschlags-Monatssummen fielen als in einem typischen April und Juni bei einer typischen Anzahl Regentage. Auffällig untypisch zeigt sich der Juli 2015. In diesem Monat gab es extrem wenig Niederschlag (ca. 5 mal weniger als der Medianwert). Es gab zudem im Juli 2015 die wenigsten Regentage in der ganzen Beprobungszeitspanne, was sich durch die sehr niedrige Niederschlags-Monatssumme erklären lässt. Die mittleren monatlichen Abflüsse im Dorfbach Allschwil im Jahr 2015 zeigen im Vergleich zur Lagemasse der Normwerte in den Frühlingsmonaten (März, April, Mai) ein anderes Verhalten als in den Sommermonaten (Juni, Juli, August). Der Dorfbach Allschwil führte im Jahr 2015 im März, April und im Mai durchschnittliche Abflüsse pro Monat, die leicht (März, April) bis deutlich (Mai) über dem Normmedian liegen. Der Bach führte in den ersten zwei Monaten noch eher typische Abflussmengen, während im Mai deutlich untypisch hohe mittlere Abflüsse ersichtlich sind. In den Monaten Juni, Juli und August führte der Bach sehr tiefe Abflussmengen.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass am Standort Basel im Juli 2015 sehr wenig Niederschlag fiel. Ansonsten liegen die Niederschlags-Monatssummen im typischen Bereich. Im Mai zeigte der Dorfbach Allschwil hohe Abflüsse, hingegen führte er im Juni bis August wenig bis sehr wenig Wasser.

2.1.2 *STANDORT BERN*

Am Standort Bern zeigt sich ein ähnliches Bild wie am Standort Basel. Im März und April regnete es sehr typische Mengen. Im Mai und im Juni liegen die Monatssummen leicht erhöht im Vergleich zu einem typischen Monat. Im Juli und August fielen sie deutlich zu tief aus. Der Monat Mai fällt besonders auf. Die Niederschlags-Monatssumme in diesem Monat liegt entsprechend beim 75%-Perzentil, während der Wert der Anzahl Regentage auf dem 25%-Perzentil liegt. Das Monatssumme/Anzahl Regentage-Verhältnis beziehungsweise die durchschnittliche Regenmenge pro Regentag ist somit eher hoch. Am Standort Bern (Aarberg) muss es im Mai 2015 also regenintensivere Niederschläge gegeben haben. Die Analyse der extremen Niederschlagsintensitäten

zeigt jedoch, dass in es Cressier zu keinen extremen Niederschlagsstundensummen kam (vgl. Kap. 2.1.6.3). Die Niederschläge Anfangs Mai 2015 waren also nicht speziell intensiv (Niederschlagssummen pro Halbtag), jedoch über mehrere Halbtage hoch. Zusätzlich zeigt der mittlere Abfluss am Sagibach Worben im Mai 2015 einen Extremwert an. In diesem Monat führte der Bach mehr als dreimal so viel Wasser wie in einem idealtypischen Monat (Median). In den anderen Monaten führte der Sagibach Worben typische (März, April, Juni) bis geringe (Juli, August) Abflussmengen.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass es am Standort Bern vor allem im Juli und August untypisch wenig regnete. Der Abflussmittelwert im Mai war am Sagibach Worben extrem hoch, hingegen in den Monaten Juli und August flossen sehr geringe Abflussmengen.

2.1.3 *STANDORT TESSIN*

Allgemein streuen die Niederschlagswerte am Standort Tessin überregional am stärksten. Am Standort Tessin fallen die sehr hohen Ausreisser der Niederschlags-Monatssummen der Norm in den Monaten April und Mai (>600mm) auf. Solche hohen Werte wurden im Jahr 2015 bei Weitem nicht erreicht. Der April fällt durch sein hohes Monatssummen/Anzahl Regentage-Verhältnis auf (ca. 100mm Niederschlag auf sechs Regentage). Der Mai 2015 steht als einziger Monat leicht über dem Normmedian. Alle anderen Monate im 2015 waren leicht trockner. Der Canale di Bonifica führte im Jahr 2015 im Monat März und Mai typische aber leicht geringere Wassermengen. Im April und Juni bis August liegen die Werte des Jahres 2015 leicht bis deutlich unterhalb des Interquartilbereiches. Der Bach führte in diesen Monaten sehr wenig Wasser.

Folgendes Fazit kann am Standort Tessin gezogen werden: Während der ganzen Beprobungszeitspanne fielen am Standort Tessin mit Ausnahme des Mai geringere Niederschlags-Monatssummen als in einem sehr typischen Jahr. Im April regnete es intensiver als üblich. Der Abfluss am Canale di Bonifica war im März noch sehr typisch. In allen folgenden Monaten führte der Kanal fast immer deutlich tiefere mittlere monatliche Abflussraten. In den Sommermonaten Juni, Juli und August sind die Abflussmonatsmittelwerte als untypisch tief zu beurteilen.

2.1.4 *STANDORT THURGAU*

Das Verhalten der Monatssummen im 2015 am Standort Thurgau ist sehr auffällig. Die Monatssummen im 2015 folgen vom März bis Juni einem ansteigenden Trend mit Werten deutlich über dem Normmedian, während sich anschliessend der Juli sehr trocken und der August einen typischen Wert zeigt. In den ersten vier Monaten regnete es im 2015 also mehr, im Juli und August weniger als in einem sehr typischen Monat. Die Monatssumme im Juni 2015 stellt ein Extremwert dar. Es regnete in diesem Monat annähernd doppelt so viel wie in einem typischen Juli (Median bei ca. 110 mm). Im Hinblick auf die extreme Monatssumme im Juni 2015 und der

geringen Anzahl Regentage im 2015 muss es sehr intensive Niederschlagsereignisse gegeben haben. Dies bestätigen die extremen Niederschlagsintensitäten Anfang bis Mitte Juni an der Station Güttingen. Am 14. Juni 2015 wurde sogar 54.7 mm / h gemessen. Diese Stundensumme macht alleine einen Viertel der gesamten Monatssumme im Juni aus und übertrifft sogar die Monatssumme im Juli 2015. Die geringe Anzahl Regentage im Juli lässt sich durch die geringe Niederschlags-Monatssumme erklären. Der mittlere Abfluss 2015 am Stichbach zeigt im Vergleich zu den Normwerten ein sehr ähnliches Bild wie die Niederschlags-Monatssummen 2015 zu ihren entsprechenden Normwerten. Die Werte 2015 liegen in den ersten vier Monaten über dem Normmedian und zeigen erhöhte Abflussraten, während sie im Juli und August unter ihren entsprechenden Normmediane liegen und der Stichbach in diesen Monaten sehr wenig Abfluss führte.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die Niederschlagsmengen am Standort Thurgau von Mai bis Juli 2015 sehr untypisch waren. Im Mai fiel deutlich mehr Niederschlag und im Juni fielen extrem hohe Niederschlagsmengen (Extremwert). Der Juli hingegen war sehr trocken. Am Stichbach in Bottighofen wurde von März bis Juni unüblich hohe mittlere Abflussraten registriert, hingegen führte der Bach im Juli und August deutlich tiefe bis fast keine Wassermengen.

2.1.5 *STANDORT WALLIS*

Im März und vor allem im Mai 2015 (Maximalwert) fielen am Standort Wallis vergleichsweise untypisch hohe Mengen, während die Monate April, Juni und Juli des Jahres 2015 unter dem Normmedian liegen, aber immer noch typische Regenmengen zeigen. Der August zeigt noch knapp typische Regenmengen bei deutlich untypisch geringer Anzahl Regentage. Auch im Mai 2015 muss es intensivere Regenereignisse gegeben haben (ca. 120mm auf 12 Regentage). Dies zeigt die hohe Monatssumme im Vergleich zur Norm und die typische Anzahl Regentage.

Zusammenfassend zeigen sich am Standort Wallis während der Beprobungszeitspanne starke Schwankungen der monatlichen Niederschlagssummen. Im März regnete es deutlich höhere Mengen als üblich, im Mai wurde im Vergleich zur Norm noch nie eine so hohe Niederschlags-Monatssumme registriert. Auch der August war leicht zu nass. In den anderen Monaten regnete es leicht weniger als in einem entsprechenden typischen Monat.

2.1.6 ÜBERREGIONALER VERGLEICH

2.1.6.1 Niederschlag: Monatssummen

Niederschlag: Monatssummen

Werte Jahr 2015 im Vergleich mit dem Median der Norm 1980-2015

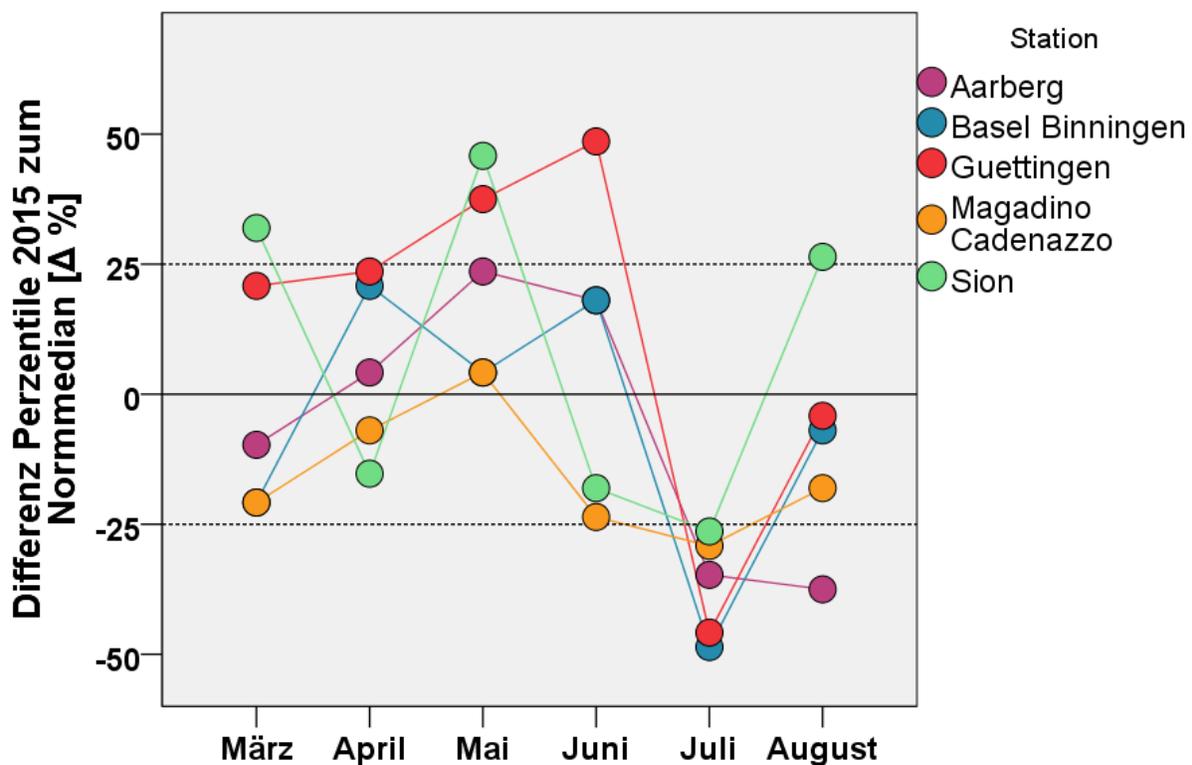


ABBILDUNG 4: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMMEN. DIFFERENZ DER PERZENTILE DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT.

Überregional betrachtet wird ersichtlich, dass im März die Niederschlags-Monatssummen an allen Standorten ausser im Wallis (Sion) typisch waren (Werte im Interquartilbereich: -25% bis 25%), an den Stationen Aarberg (Standort Bern), Basel Binningen (Standort Basel) und Magadino Cadenazzo (Standort Tessin) jedoch geringer ausfielen als unter sehr typischen Bedingungen (Medianwert) an den entsprechenden Standorten erwartet werden kann. Von April bis Juni fielen an allen Standorten des Mittellandes höhere Regenmengen als in einem idealtypischen Jahr (Normmedian beziehungsweise 0%). Im Juli 2015 wurde an allen Standorten sehr tiefe monatlichen Niederschlagssummen registriert, die allesamt untypisch tief ausfielen. In keinem anderen Monat kann ein so deutliches Fazit über alle Stationen beziehungsweise Standorte gemacht werden. In allen anderen Monaten variieren die Perzentile der Monatssummen vom Jahr 2015 zum Normmedian unterschiedlich stark. Der April 2015 zeigte sich im Vergleich mit allen anderen Monaten am typischsten (geringste Streuung der

Werte und alle im Interquartilbereich). Der Mai 2015 war überregional leicht bis deutlich zu nass. Im August und vor allem im Juni verhalten sich die Werte zwischen den Stationen am gegensätzlichsten. In diesen Monaten zeigt sich die grösste Streuung der Werte und somit kein deutlicher überregionaler, schweizweiter Trend.

Die Standorte VS und TG zeigen die meisten untypischen Niederschlagsmonatsmittelwerte. Beim Standort VS zeigen vier von sechs Monate untypisch hohe bzw. tiefe Niederschlagsmonatsmittelwerte, wobei zwei davon nur knapp über dem Interquartilbereich liegen (Juli und August). Am Standort TG zeigen jeweils die Hälfte aller Niederschlagsmonatssummen untypische hohe und untypische tiefe Perzentile. Bei allen anderen Standorten liegen weniger Werte ausserhalb des als typisch klassierten Interquartilbereichs (BE: Juli und August; BL: Juli; TI: Juli).

2.1.6.2 Niederschlag: Anzahl Regentage

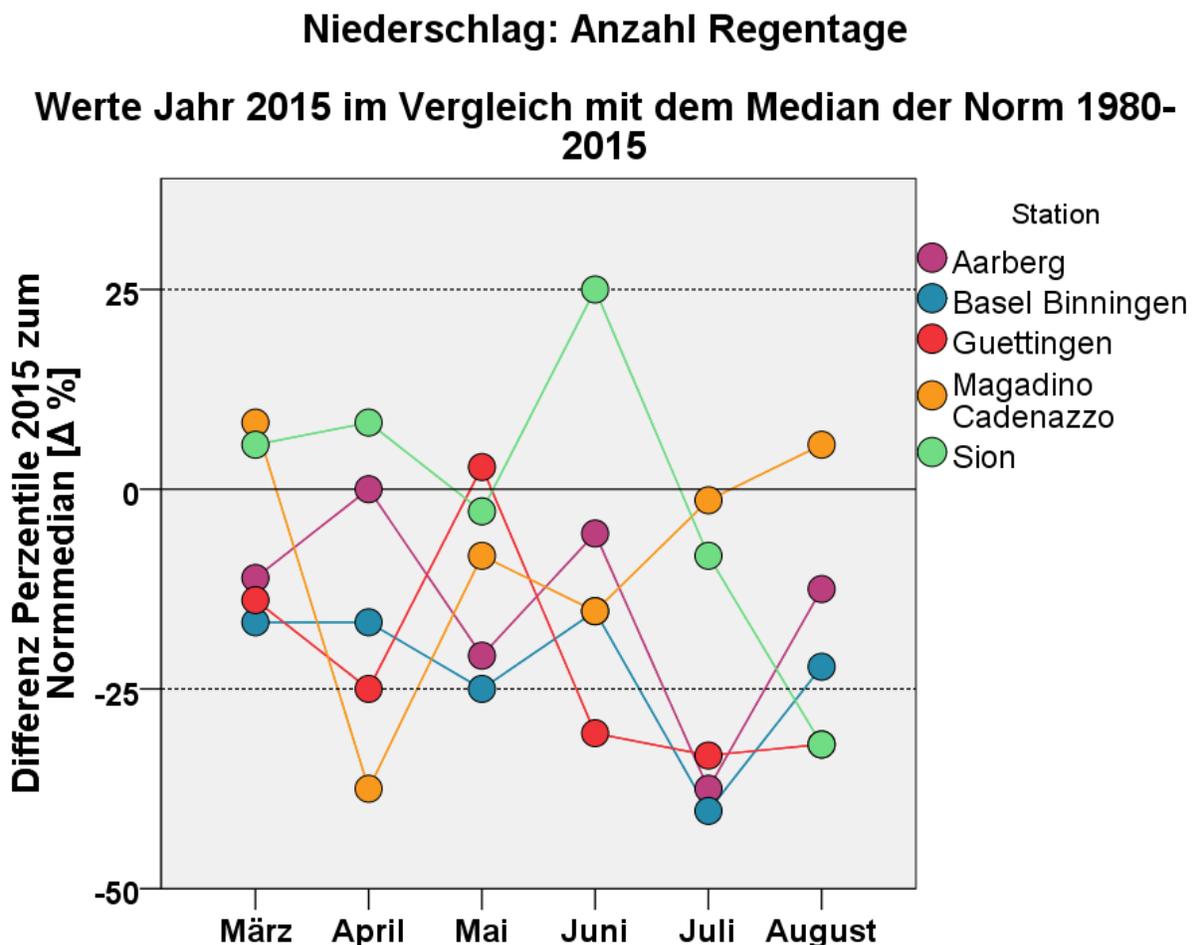


ABBILDUNG 5: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. DIFFERENZ DER PERZENTILE DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT

Der März war gefolgt vom Monat Mai bezüglich der Anzahl Regentage überregional am typischsten, da in diesen Monaten die Perzentile ausnahmslos im Interquartilbereich und am nächsten beim Normmedian liegen (geringstes Δ %). Ansonsten zeigt sich pro Monat zwischen den Stationen eine grössere Varianz der Werte. Im Juli 2015 liegen alle Werte der Stationen des Mittellandes deutlich unter dem unteren Quartil. In diesem Monat gab es an diesen Stationen also untypisch wenige Regentage, was sich durch die durchgehend tiefen Niederschlags-Monatssummen erklären lässt (vgl. Abb. 4).

Im Allgemeinen fällt auf, dass die meisten Perzentile unter dem Median und somit in der unteren Hälfte der jeweiligen Datenreihen pro Station und Monat liegen. Die Anzahl Regentage pro Monat war schweizweit in der ganzen Beprobungszeitspanne mit ein paar Ausnahmen typisch bis deutlich untypisch gering. Dieser Umstand führt bei untypisch hohen Niederschlags-Monatssummen der zutreffenden Stationen und Monate zu niederschlagsintensiveren Regentagen, was zu erhöhten PSM-Einträgen führen kann (Hypothese iv). An keinem einzigen Standort wurde eine untypisch hohe Anzahl Regentage während der Beprobungszeitspanne registriert. An den wenigen Ausnahmen (Sion im März, April und Juni; Magadino Cadenazzo im März und August; Güttingen im Mai) gab es mehr Regentage als in einem entsprechend idealtypischen Monat (Medianwert).

2.1.6.3 Wiederkehrperioden von extremen Niederschlagsintensitäten

Je intensiver das Niederschlagsereignis, umso höher sind die PSM-Einträge zu erwarten, da diese zu höheren kurzzeitigen Oberflächenabflüssen führen können, welche wiederum die Mobilisierung von PSM vom Feld in Gewässer ermöglichen. Darum ist es von Relevanz, seltene und intensive Niederschlagsereignisse während der Beprobungszeitspanne NAWA SPEZ II auf ihre Üblichkeit zu untersuchen. Mithilfe der Extremwertstatistik können solche Ereignisse in ihrer Häufigkeit beurteilt werden. Mittels Wiederkehrperioden lassen sich Aussagen zur Eintretenswahrscheinlichkeit bestimmter Ereignisse machen. In folgender Tabelle wird eine Auswahl an extremen Niederschlagsintensitäten (grösste Stundensumme pro Tag $\geq 10\text{mm}$ oder Wiederkehrperiode $\geq 1.1\text{y}$) in der Beprobungszeitspanne 2015 an allen Standorten aufgelistet und diskutiert.

TABELLE 3: AUSWAHL ($\geq 10\text{mm/h}$ ODER $\geq 1.1\text{y}$) AN EXTREMEN NIEDERSCHLAGSINTENSITÄTEN IM JAHR 2015 UND IHRE WIEDERKEHRPERIODEN. SORTIERT NACH ABFALLENDER LÄNGE DER WIEDERKEHRPERIODE DES ENTSPRECHENDEN EREIGNISSES.

Rang	Station	Standort	Datum	grösste Stundensumme pro Tag [mm/h]	Wiederkehrperiode [y]
1	Güttingen	TG	14.06.2015	54.7	38.32
2	Sion	VS	09.06.2015	14.3	7.29
3	Güttingen	TG	09.08.2015	25.7	6.08
4	Güttingen	TG	13.06.2015	16.8	2.33
5	Basel Binningen	BL	14.06.2015	18.7	2.12
6	Basel Binningen	BL	09.08.2015	17.6	1.83
7	Sion	VS	14.08.2015	7.6	1.37
8	Güttingen	TG	07.06.2015	11.6	1.25
9	Basel Binningen	BL	12.06.2015	13.8	1.23
10	Magadino Cadenazzo	TI	08.07.2015	20.6	1.02
11	Magadino Cadenazzo	TI	14.05.2015	16.3	1.00
12	Magadino Cadenazzo	TI	24.08.2015	13.7	1.00
13	Magadino Cadenazzo	TI	15.05.2015	13.4	1.00
14	Magadino Cadenazzo	TI	24.07.2015	13.1	1.00
15	Magadino Cadenazzo	TI	19.05.2015	11.6	1.00
16	Magadino Cadenazzo	TI	15.08.2015	11.3	1.00
17	Cressier	BE	13.08.2015	12.6	NA

Die Resultate zeigen, dass die berechneten Wiederkehrperioden stärker von der betrachteten Station als von der entsprechenden Stundensumme abhängig sind. Da sich je nach Station die Parameter zur Berechnung der Wiederkehrperiode ändern, sind zwischen den Stationen mit ähnlichen Stundensummen unterschiedliche Wiederkehrperioden zu erwarten (vgl. Tab. A 1). Vor allem Anfang bis Mitte Juni sowie um Mitte August wurden vermehrt seltenere, intensive Niederschlagsereignisse registriert. Die Ungewöhnlichsten davon fielen vermehrt am Standort Thurgau (Güttingen). Hier ereignete sich während der Beprobungszeitspanne NAWA SPEZ II ein sehr seltenes Niederschlagsereignis. Am 14. Juni 2015 wurde ein extrem starkes Gewitter mit einer Stundensumme von 54.7mm/h registriert, welches sich statistisch nur knapp alle 39 Jahre ereignet. Auch an den Standorten Basel (Basel Binningen) und Wallis (Sion) herrschten in der Beprobungszeitspanne seltene, sehr intensive Niederschlagsereignisse. Im Vergleich zum Rang 1-Ereignis in Güttingen sind diese jedoch statistisch häufiger zu erwarten. Auffallend häufig ist Station Magadino Cadenazzo in der obigen Tabelle aufgrund hohen Niederschlags-Stundensummen von mehr als 11mm/h vertreten. Die tiefen Wiederkehrperioden der Stundensummen (~ 1 y) dieser Station zeigen jedoch, dass die im 2015 registrierten extremen Niederschlagsintensitäten am Standort Tessin überhaupt nicht selten und somit häufiger zu erwarten sind. Dies

heisst jedoch nicht, dass diese Niederschlagsereignisse für das Auslösen von PSM-Einträgen in Gewässer nicht verantwortlich gemacht werden können.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass es während der Beprobungszeitspanne an den Standorten Thurgau, Basel und Wallis gesamthaft an fünf Tagen Stundensummen gemessen wurden, welche eine Wiederkehrperiode von mehr als zwei Jahren haben. Am Standort Thurgau und Wallis gab es zwei ungewöhnlich intensive Ereignisse, die statistisch alle sieben bis acht Jahre vorkommen (Wiederkehrperiode 6.08 y und 7.29 y). Das intensivste Niederschlagsereignis wurde am Standort Thurgau am 14. Juni 2015 registriert (grösste Niederschlagsstundensumme 54.7 mm / h) mit einer statistischen Wiederkehrperiode von 39 Jahren.

2.1.6.4 Abflüsse

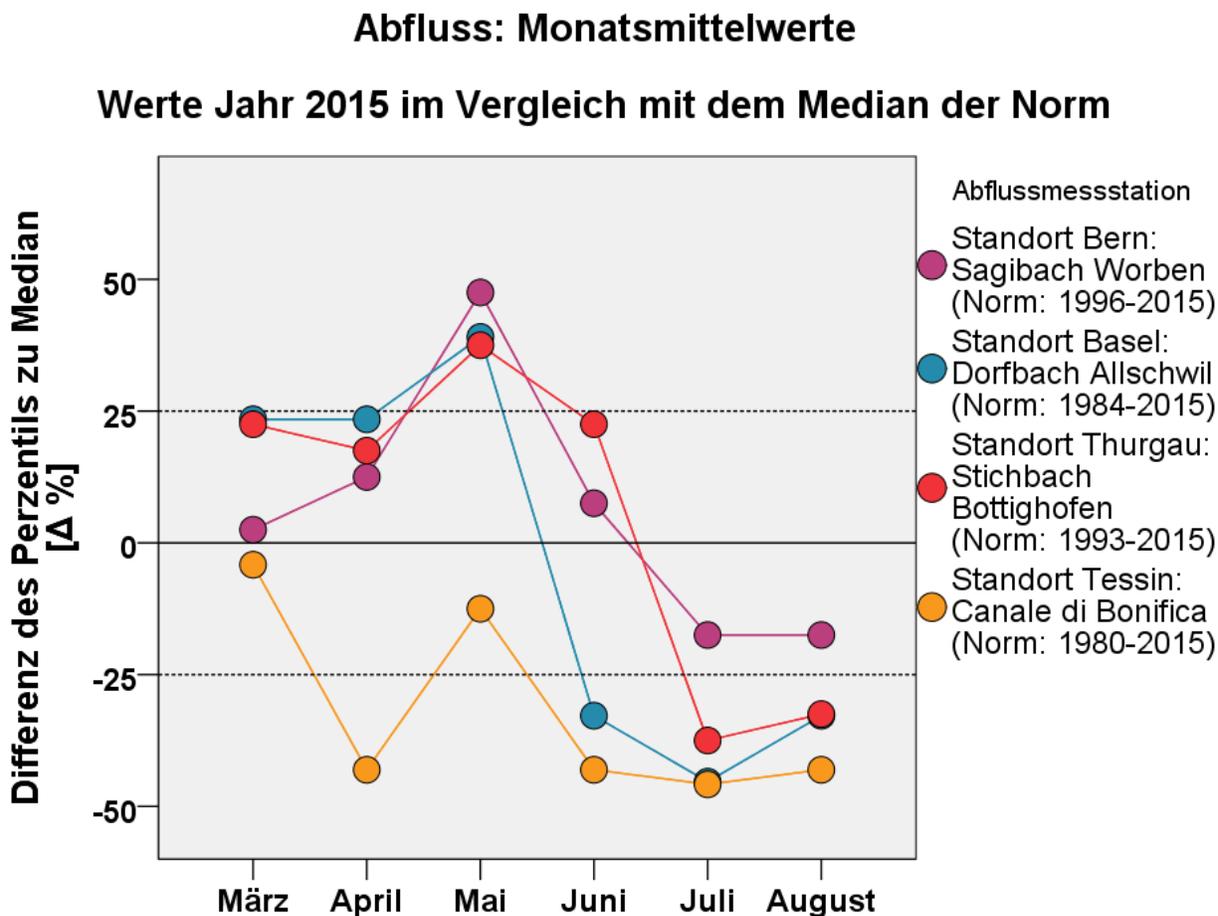


ABBILDUNG 6: ABFLUSS; MONATSMITTELWERTE. DIFFERENZEN DER WERTE IM JAHR 2015 ZUM MEDIAN DER VERTEILUNG ALLER WERTE VON 1980-2015 JEWEILS PRO STATION UND MONAT

Die Untersuchung der Perzentile der mittleren monatlichen Abflussraten aller Standorte während der Beprobungszeitspanne zeigt einen deutlichen Unterschied zwischen den Werten der Abflussmessstationen im

Mittelland und der Abflussmessstation im Tessin (Abflusswerte zum Standort Wallis fehlen). Die Perzentile der Abflussmessstationen der Standorte des Mittellands folgen alle in etwa dem gleichen Trend. Sie liegen in den ersten drei bis vier Monaten der Beprobungszeitspanne leicht bis deutlich im positiven Bereich und zeigen somit höhere mittlere monatliche Abflussraten als in einem sehr typischen entsprechenden Monat. Im Mai zeigen die Perzentile all jener Stationen untypische, sehr hohe positive Werte (>30%). Im Juli und August fallen alle Werte leicht (Standort Bern: Sagibach Worben) bis deutlich (alle anderen Fliessgewässer) unter den Median, während der Dorfbach Allschwil am Standort Basel schon im Juni einen sehr untypisch tiefen Wert zeigt. Auch am Standort Tessin führte der Canale di Bonifica in der zweiten Hälfte der Beprobungszeitspanne ausschliesslich untypische, sehr geringe mittlere Abflüsse. Ebenso liegen die Perzentile in den Frühlingsmonaten leicht (März, Mai) bis deutlich (April) unter dem Median und zeigen während der ganzen Beprobungszeitspanne negative Werte.

Über die ganze Beprobungszeitspanne betrachtet zeigt der Standort BL und TI jeweils vier von sechs Abflussmonatsmittelwerte, die deutlich untypisch hoch oder tief sind. Am Standort TG zeigen drei von sechs Monaten untypische Werte. Am Standort BE ist es nur ein Monat, der einen untypischen Wert besitzt.

Limitationen

Im ersten Teil dieser Arbeit wurde versucht, mithilfe der Analyse von Klimavariablen und Abflussplots die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen im Frühling und Sommer 2015 an ausgewählten Standorten der Schweiz festzuhalten und zu beurteilen. Die generierten Klimavariablen sollten bestmöglich das Verhalten der relevantesten Auslöser und Förderer des PSM-Eintragsprozess in Fliessgewässer widerspiegeln. Die Methoden und Resultate im Teil 1 sind durch folgende Limitationen eingeschränkt:

Um Schlussfolgerungen aus Daten machen zu können, müssen diese sinnvoll zeitlich aggregiert werden, damit Aussagen erst synthetisiert werden können. Die im Teil 1 generierten Klimavariablen wurden jeweils zu Werten pro Monat aggregiert und graphisch dargestellt, um Vergleiche der Werte 2015 mit der Normzeitspanne zu ermöglichen. Mit dieser groben Zeiteinheit werden kurzzeitlichere Varianzen der Variablen (Abflüsse und Niederschlagsmengen) geglättet und sind somit nicht mehr ersichtlich. Diese kurzzeitigen, hohen Abflussspitzen, die durch Niederschlagsereignisse ausgelöst werden und hohen Oberflächenabfluss generieren, können jedoch bezüglich des Prozessverhaltens von PSM-Einträge in Gewässer ausschlaggebend sein. Für den Vergleich der Bedingungen während der Beprobungszeitspanne mit der Normzeitspanne und eine Beurteilung deren Üblichkeit ist die zeitliche Aggregation zu Monatswerten jedoch ausreichend und zielführend. Zusätzlich wird durch die monatliche Aggregation die saisonale Varianz der untersuchten Klima- und Abflussvariablen berücksichtigt.

Aufgrund methodischer Artefakte werden die Resultate zusätzlich limitiert. Niederschlagsereignisse können raumzeitlich stark variieren. Durch die räumliche Distanz zwischen einer Meteostation und dem Einzugsgebiet der beprobten Fließgewässer ist es wahrscheinlich, dass bestimmte Niederschlagsereignisse von den Meteostationen nicht registriert werden. Da Meteostationen auf sehr kleiner Fläche bzw. an einem Punkt messen, können sie nicht das volle räumlich-zeitliche Ausmass von Regenereignissen erfassen (Smith 1974; Syed et al. 2003). Ähnliches gilt für die Abflussmessstationen. Aufgrund fehlender Abflussdaten aus dem Projekt NAWA SPEZ II musste auf Abflussdaten von Alternativ-Fließgewässern zurück gegriffen werden, deren Einzugsgebiet nicht deckungsgleich mit den beprobten Fließgewässern sind. Der Vergleich der Pegeldata mit den Abflussdaten der Alternativ-Fließgewässern zeigt jedoch am Standort Basel und Thurgau, dass die Auswahl dieser Alternativ-Fließgewässer für die Untersuchungen gerechtfertigt ist (vgl. Abb. A 33, A 34). Am Standort Bern hingegen ist es aufgrund fehlenden Pegeldata nicht möglich, Aussagen über die Repräsentativität der Sagibachs Worben als Stellvertreter für den Mooskanal zu machen. Diese Umstände führen allgemein zu einer limitierten Repräsentation der wirklichen meteorologischen und hydrologischen Bedingungen in situ. In einem nächsten Projekt könnte dieser Limitation durch die Aufstellung mehrerer, räumlich unmittelbar zu den relevanten Ackerflächen stehenden Niederschlags- und Abflussmessstationen entgegen gewirkt werden.

2.2 INBEZUGNAHME DER BELASTUNGSDATEN (TEIL 2)

2.2.1 KORRELATIONEN ZWISCHEN DEN PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN UND DEN UMWELTVARIABLEN

Resultate

Die Korrelationskoeffizienten (R^2) bei der Untersuchung der Korrelation von PSM-Summenkonzentration mit den Niederschlagsmittelwerten zeigen unabhängig vom Mischprobentyp sehr tiefe Werte. Mischproben, die länger als einen Halbttag dauern, haben Werte von unter $R^2 = 0.110$. Das R^2 bei den Halbtagesmischproben ist an den Standorten BL, TG und TI leicht bis deutlich ($R^2 + 0.1$) höher als bei den länger andauernden Mischproben. An den Standorten Thurgau, Tessin und Wallis fällt das R^2 bei den Halbtagesmischproben am höchsten aus und bewegt sich zwischen 0.103 und 0.148, welche jedoch immer noch sehr tiefe Werte darstellen. Beim Standort Basel bei den Halbtagesmischproben sowie am Standort Tessin bei den länger andauernden Mischproben haben die lineare Regressionsgeraden sogar unerwartete negative Steigungen (vgl. Abb. A 37 bis A 41).

Ein ähnliches Resultat mit einer grossen Ausnahme zeigt die Korrelationsanalyse der PSM-Summenkonzentrationen mit den mittleren Abflussraten und mittleren Pegelständen. Es zeigen sich vereinzelt deutlich höhere Korrelationskoeffizienten als mit dem Niederschlag, meistens jedoch vergleichbar tiefe Werte. Die Pegelstände zeigen keine deutliche lineare Korrelation mit den PSM-Summenkonzentrationen ($R^2 < 0.135$, Standort Tessin ausgenommen), teilweise ist die Steigung der Regressionsgerade auch negativ (Standort Basel: Halbtagesmischproben und längere Mischproben, Standort Thurgau Halbtagesmischproben, Standort Tessin längere Mischproben). Die Ausnahme bildet der Standort Tessin. Hier fällt das R^2 bei den Halbtagesmischproben deutlich am höchsten aus ($R^2 = 0.433$) und die Regressionsgerade zeigt eine positive Steigung. Die Abflussraten korrelieren vergleichbar schlecht mit den PSM-Summenkonzentrationen ($R^2 < 0.069$, Standort Tessin ausgenommen). Die Ausnahme bildet wieder der Standort Tessin bei den Halbtagesmischproben bei einem hohen R^2 von 0.693. Auch bei der Korrelationsanalyse mit den mittleren Abflussraten pro Mischproben zeigt sich am Standort Basel bei beiden Mischprobentypen sowie im Tessin bei den längeren Mischproben sehr geringe R^2 sowie negative Steigungen der Regressionsgeraden.

Die Untersuchung der Delta-PSM-Summenkonzentrationen mit den Delta-Werten der Umweltvariablen zeigen nur bei einzelnen Standorten und einzelnen Umweltvariablen deutlich höhere Korrelationskoeffizienten wie mit der Analyse der absoluten Werten. Im gesamten zeigt die Hälfte aller 24 Korrelationsanalysen höhere Korrelationskoeffizienten mit den Delta-Werten als mit den absoluten Werten. Die Korrelationskoeffizienten liegen bei der Untersuchung mit Delta-Niederschlag zwischen 0.002 und 0.437, mit Delta-Abfluss zwischen 0.002 bis 0.712 und mit Delta-Pegel zwischen <0.001 bis 0.610 (vgl. Tab. 4).

TABELLE 4: KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN (R^2) DER LINEAREN KORRELATIONSANALYSEN, UNTERTEILT NACH ABSOLUTEN WERTEN UND DELTA-WERTEN (TOTAL 24 KORRELATIONSANALYSEN). KURSIV MARKIERTE WERTE MARKIEREN NEGATIVE STEIGUNGEN DER REGRESSIONSGERADEN. BLAU MARKIERT: WERTE $R^2 > 0.1$, ROT MARKIERT: WERTE $R^2 > 0.5$.

		PSM-Summenkonzentration			Δ PSM-Summenkonzentration		
		×			×		
Standort	Mischprobentyp	Niederschlag	Abfluss	Pegel	Δ Niederschlag	Δ Abfluss	Δ Pegel
BE	Halbtagesmischproben	0.036	0.069	NA	0.255	0.071	NA
	Mischproben >1 Halbttag	0.051	0.027	NA	0.081	0.083	NA
BL	Halbtagesmischproben	0.043	0.013	<0.001	0.014	0.006	<0.001
	Mischproben >1 Halbttag	0.021	0.003	0.024	0.003	0.002	0.013
TG	Halbtagesmischproben	0.148	0.058	0.027	0.081	0.149	0.248
	Mischproben >1 Halbttag	0.049	0.067	0.135	0.073	0.002	0.095
TI	Halbtagesmischproben	0.140	0.693	0.433	0.019	0.712	0.610
	Mischproben >1 Halbttag	0.025	0.031	0.024	0.437	0.357	0.158
VS	Halbtagesmischproben	0.103	NA	NA	0.253	NA	NA
	Mischproben >1 Halbttag	0.110	NA	NA	0.002	NA	NA

Diskussion und Limitationen

Die Korrelationsanalyse zwischen den Parameterpaaren mit den Differenzen der Werten zum zeitlich vorangehenden Wert (Delta-Werte) führten bei allen Standorten zu keinen durchgehend höheren Korrelationskoeffizienten. Die Untersuchung der Delta-Werte auf Korrelationen war jedoch erfolgsversprechend, da die Delta-Werte das Ausmass der absoluten Werte relativieren, indem sie die Dynamik der untersuchten Werten im zeitlichen Verlauf in Bezug auf ihre zeitlich vorangehenden Mischprobe ein Stück weit berücksichtigen.

Die Niederschlagsmittelwerte können das Ausmass der PSM-Summenkonzentrationen allein nicht erklären. Dies konnte die Korrelationsanalyse zeigen ($R^2 < 0.437$). Die Hypothese iii „Je mehr Niederschlag fällt, umso höher sind die Belastungskonzentrationen zu erwarten“ kann mit den in dieser Arbeit durchgeführten Korrelationsanalysen pro Mischprobe nicht bestätigt werden. In Anbetracht, dass das Ausmass von PSM-Einträgen von vielen Faktoren und Abhängigkeiten beeinflusst wird, sind die Resultate der Korrelationsanalysen mit dem Niederschlag nicht sehr erstaunlich. Obwohl Niederschläge PSM-Einträge stark beeinflussen, sind noch ganz viele weitere Faktoren am Ausmass der PSM-Belastungen in Fliessgewässern beteiligt. Zudem ist der Niederschlagsmittelwert pro Mischprobe (höchste zeitliche Auflösung: 12 Stunden) nur limitiert aussagekräftig,

was die Intensität der Niederschläge geschweige denn die Anzahl der Niederschlagsereignisse betrifft, da Niederschlagsintensitäten bekanntlich sehr kurzzeitig variieren können (Sommergewitter). Auf eine Korrelationsanalyse der Niederschlagssumme pro Mischprobe im Zusammenhang mit der PSM-Summenkonzentration wurde bewusst verzichtet, da aufgrund der stark variierenden Mischprobendauer die Vergleichbarkeit der Mischproben, vor allem unter den länger andauernden Mischproben, ohne Einbezug der zeitlichen Dimension nicht gegeben gewesen wäre.

Es lässt sich nur spekulieren, warum gerade der Standort Tessin die höchsten Korrelationskoeffizienten bei allen Untersuchungen zeigt. Die Niederschlagsmonatssummen am Standort Tessin streuen im Vergleich zu den anderen Standorten mit Abstand am meisten (vgl. Abb. A 1 bis A 5). Daraus könnte man schliessen, dass die einzelnen Niederschlagsereignisse entsprechend auch eine hohe Streuung zeigen. Auch die Abflussraten am Canale di Bonifica zeigen von der in dieser Arbeit untersuchten Fliessgewässer die grösste Varianz (Abflussmaxima knapp $6 \text{ m}^3/\text{s}$, vgl. Abb. 13). Eventuell kann die hohe Streuung der Werte der Umweltvariablen Niederschlag und Abfluss am Standort Tessin für die höchsten R^2 aller Korrelationsanalysen verantwortlich gemacht werden, welche die Varianz der PSM-Summenkonzentrationen bestmöglich erklären können.

In dieser Arbeit wurden die PSM-Summenkonzentrationen aller Mischproben eines Standortes mit den Niederschlags- und Abflussmittelwerten unabhängig von einer zeitlichen Abfolge auf Korrelationen analysiert. Das Ausmass der gemessenen Belastungen wird neben den einflussreichen lokalen Bedingungen (vgl. z.B. Doppler et al. 2012) stark durch die applizierten PSM-Mengen und deren Applikationszeitpunkten beeinflusst. Diese können je nach Pflanzenstadium (Saison) und der Art der Pflanzenkulturen variieren (Müller et al. 1999; Neumann et al. 2002; Honti et al. 2016). Eine deutliche monatliche Variation der mittleren PSM-Summenkonzentrationen pro Monat konnte auch im Projekt NAWA SPEZ II festgestellt werden (vgl. Abb. 7). Dies könnte durch den schwankenden PSM-Vorrat auf den Feldern erklärt werden. Gewisse Mischproben haben bei vergleichbar hohen Niederschlags- oder Abflussmittelwerten unterschiedlich hohe PSM-Belastungskonzentrationen, was eine gute lineare Korrelation zwischen den zwei Parametern prinzipiell verhindert.

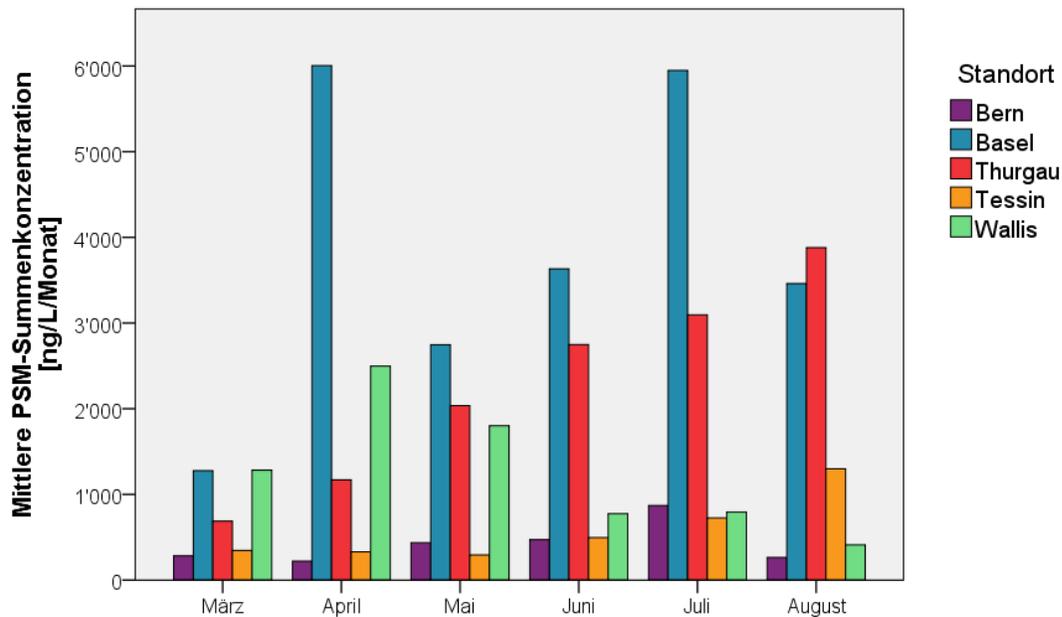


ABBILDUNG 7: MITTLERE PSM-SUMMENKONZENTRATION PRO MONAT, AUFGETEILT NACH STANDORT

Der Einfluss des Mischprobentyps bzw. der Mischprobenlänge auf die Korrelationskoeffizienten ist auffällig. Bei zwei Drittel aller Korrelationsanalysen (16 von 24) fiel der Korrelationskoeffizient von Halbtagesmischproben im Vergleich zum Korrelationskoeffizient der länger andauernden Mischproben pro Parameterpaar und Standort höher aus. Dies könnte durch die höhere zeitliche Auflösung der Werte bei Halbtagesmischproben erklärt werden, welche das Verhalten der untersuchten Parameter präziser, jedoch in Anbetracht des realen Verhaltens der Parameter zu wenig adäquat erfassen können. Die zeitliche Frequenz der Belastungsdaten ist zu tief, um die erwarteten, höheren Korrelationen mit ausgewählten Umweltvariablen zu zeigen. Die Belastungsdaten des NAWA SPEZ II-Programm sind zu unpräzise langen Zeitspannen aggregiert und zu unregelmässigen Sequenzen verfügbar (Mischprobenzeitspannen von einem Halbtage bis zu 48 Halbtage). Die Niederschläge und Abflüsse/Pegel mussten entsprechend der unterschiedlichen Mischprobenzeitspannen zu Mittelwerten aggregiert werden, um mit den PSM-Summenkonzentrationen verglichen werden zu können. Belastungskonzentrationen variieren aber viel kurzzeitlicher und können bei zeitlich hochaufgelösten Abstraten deutliche Korrelationen mit dem Abfluss zeigen (Leu et al. 2005). Zudem sind durch die langen Mischprobenzeitspannen Verdünnungseffekte auf die realen Belastungskonzentrationen nicht auszuschliessen, was die Varianz der PSM-Summenkonzentrationen pro verfügbare Zeiteinheit vermindert. Durch eine höhere Anzahl Mischproben und vor allem mit zeitlich höher aufgelösten Abstraten im Projekt NAWA SPEZ II wären die Korrelationskoeffizienten sehr wahrscheinlich höher ausgefallen und den erwarteten linearen Zusammenhang zwischen PSM-Summenkonzentration und Abfluss hätte bestätigt werden können.

2.2.2 KATEGORISIERUNG UND QUANTIFIZIERUNG DER MISCHPROBEN BEZÜGLICH DEN METEOROLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN BEDINGUNGEN

Gemäss dem Verhalten der Umweltvariablen Niederschlag und Abfluss pro Mischprobe im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe (Zunahme/Abnahme, beim Niederschlag zusätzliches Attribut Niederschlagsmittelwert = 0 mm), können die meteorologisch-hydrologischen Bedingungen während einer Mischprobenzeitspanne beschrieben werden. So kann eingeschätzt werden, ob diese Bedingungen gemäss der in dieser Arbeit postulierten Hypothesen Einträge von PSM eher begünstigen oder verhindern. Nimmt man das Verhalten der Belastungskonzentrationen hinzu, erlaubt dies zusätzliche spezifischere Rückschlüsse auf PSM-Vorräte auf den Feldern und lässt eine Einschätzung über mögliche PSM-Eintragsquellen (diffuse Quellen oder Punktquellen) zu. In Tabelle 5 werden alle zwölf möglichen Kombinationen der Verhalten der Parameter aufgelistet und die Resultate der Anteile der kombinierten Kategorien über alle Standorte aufgelistet. In Tabelle 6 werden die zwölf Kategorien meteorologisch-hydrologisch sowie im Miteinbezug des Verhaltens der PSM-Summenkonzentrationen beschrieben und interpretiert.

Resultate

TABELLE 5: ANTEILE (AUF GANZE % GERUNDET) DER KOMBINIERTEN KATEGORISIERUNG ÜBER ALLE STANDORTE. EINE AUFLISTUNG PRO STANDORT SOWIE MIT DER ANZAHL MISCHPROBEN PRO KATEGORIE IST IM ANHANG ZU FINDEN (VGL. TAB. A2 UND A3).

Delta-Niederschlags- mittelwert pro Mischprobe	Delta- Abflussmittelwert pro Mischprobe	Delta-PSM-Summen- konzentration pro Mischprobe	Farbcode Kategorie	Halbtagesmisch- proben (HTMP)		Länger andauernde Mischproben (MP >1HT)		Alle Misch- proben
				Anteil an allen MP	Anteil an HTMP	Anteil an allen MP	Anteil an MP >1HT	
positiv	positiv	positiv	rot	10%	33%	4%	6%	14%
		negativ	rosa	6%	19%	3%	4%	8%
positiv	negativ	positiv	gelb	3%	10%	11%	16%	14%
		negativ	orange	3%	8%	10%	14%	12%
negativ	positiv	positiv	gelb	3%	10%	1%	1%	4%
		negativ	gelblich	1%	2%	6%	8%	6%
negativ	negativ	positiv	grün	0%	0%	5%	6%	5%
		negativ	hellgrün	0%	0%	17%	25%	17%
Niederschlags- mittelwert = 0mm	positiv	positiv	violett	0%	0%	1%	2%	1%
		negativ	lila	1%	2%	1%	1%	1%
Niederschlags- mittelwert = 0mm	negativ	positiv	blau	1%	2%	4%	6%	5%
		negativ	hellblau	3%	10%	8%	12%	12%

Stieg die Belastung einer Mischprobe unabhängig vom Mischprobentyp im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe an, so stieg vielen Mischproben sogleich der Niederschlagsmittelwert (dunkelrote und ockerfarbene Kategorie, beide Mischprobentypen je 14% aller Mischproben, total 28% aller Mischproben). Nimmt man das Verhalten des Abflussmittelwertes bei diesen Kategorien hinzu, so zeigt sich ein grosser Unterschied zwischen Halbtagesmischproben und länger andauernde Mischproben. Stieg zusätzlich der Abflussmittelwert, so fällt der grösste Anteil an Halbtagesmischproben in diese Kategorie (dunkelrote Kategorie, n = 16, 33% aller Halbtagesmischproben). Diese Kategorie wird nur von 6% aller länger andauernden Mischproben belegt.

Sank die PSM-Summenkonzentration einer länger andauernden Mischprobe, so zeigen diese am häufigsten auch sinkende Niederschlagsmittelwerte sowie sinkende Abflussmittelwerte (hellgrüne Kategorie, 25% aller länger andauernden Mischproben. Dies ist zudem die anteilsstärkste Kategorie der ganzen Analyse unabhängig von Mischprobentyp, wobei keine einzige Halbtagesmischprobe das gleiche Verhalten der Parameter zeigt (17% aller Mischproben). Niederschlag wurde bei 86% aller Halbtagesmischproben und bei 79% aller länger andauernden Mischproben detektiert. Falls kein Niederschlag während einer Mischprobenzeitspanne fiel, so sanken bei diesen Mischproben mit Abstand am häufigsten auch die Belastungen sowie die Abflussmittelwerte (hellblaue Kategorie, n = 18, 12% aller vergleichbaren Mischproben). Bei dieser Kategorie ist nur ein sehr kleiner Unterschied zwischen den Anteilen pro Mischprobentyp ersichtlich (Halbtagesmischproben: n = 5, 10% aller Halbtagesmischproben; länger andauernde Mischproben: n = 13, 12% aller länger andauernden Mischproben).

- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend

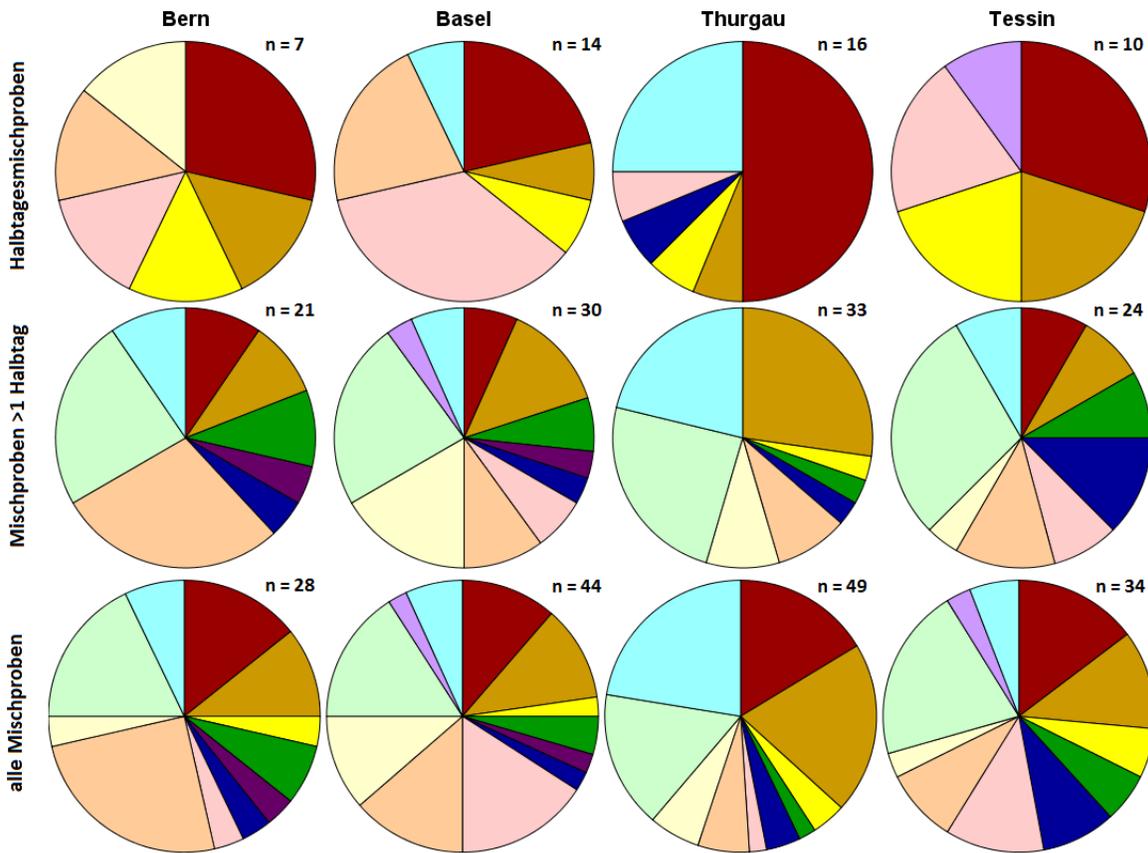


ABBILDUNG 8: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN OHNE UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN. UNTERTEILT NACH STANDORT UND MISCHPROBENTYP, MARKIERT MIT ANZAHL MISCHPROBEN PRO MISCHPROBENTYP UND STANDORT. AUFFÄLLIG IST DIE ÄHNLICH HOHE ANZAHL MISCHPROBEN DER STANDORTE BERN UND TESSIN SOWIE BASEL UND THURGAU. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE AUSSER STANDORT WALLIS (N TOTAL = 155), UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBEN (N = 47) UND MISCHPROBEN MIT FEHLENDEN PSM-REFERENZWERTEN (N = 14) AUSGESCHLOSSEN.

Zwischen den Standorten zeigen sich je nach Mischprobentyp grosse Unterschiede der Kategorienanteile. Vergleicht man die Anteile der kombinierten Kategorien aller Mischproben (beide Mischprobentypen), so sind nur geringe Unterschiede zwischen einzelner Kategorienanteilen pro Standort ersichtlich. Beim Vergleich der Kategorienanteile unter den länger andauernden Mischproben werden Unterschiede zwischen den Standorten deutlicher. Der Anteil aller Kategorien mit sinkenden Belastungen unter länger andauernden Mischproben variiert kaum zwischen den Standorten (62% bis 67%). Bei diesem Mischprobentyp zeigt sich beim Standort Thurgau der vergleichsweise höchste Anteil bei der ockerfarbenen Kategorie (Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend) und hellblauen Kategorie (Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend).

Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend). Beim Standort Bern dominiert überregional sowie auch im Vergleich zu den anderen Kategorienanteilen am selben Standort die pastellorangene Kategorie, die sich durch sinkende Belastung, ansteigenden Niederschlagsmittelwert und sinkender Abflussmittelwert charakterisiert (29%).

Vergleicht man über alle Standorte hingegen nur Anteile der Kategorien unter den Halbtagesmischproben, so sind die diversesten Kategorienhäufigkeiten ersichtlich. Erstens fallen die grossen Differenzen der Anteile der Kategorien mit ansteigenden Belastungen auf. Am Standort Tessin und Thurgau wurden bei diesem Mischprobentyp viel häufiger ansteigende statt sinkende Belastungen registriert (70% bzw. 68%) als an den Standorten Bern und Basel (57% bzw. 35%). Bei den Standorten Basel (n = 1), Thurgau (n = 5) und Tessin (n = 1) wurden niederschlagsfreie Halbtagesmischproben registriert, mit zwei Ausnahmen fast ausschliesslich bei sinkenden PSM-Summenkonzentrationen (Ausnahme Thurgau) und sinkenden Abflussmittelwerter (Ausnahme Tessin). Am Standort Bern wurde keine einzige niederschlagsfreie Halbtagesmischprobe registriert. Der höchste Anteil an Halbtagesmischproben mit sinkender Belastung und ansteigenden Niederschlags- sowie ansteigenden Abflussmittelwerten zeigt sich am Standort Basel (36%). Am Standort Thurgau ist der grösste Anteil an Halbtagesmischproben mit ausschliesslich ansteigenden Delta-Werten aller Parameter (dunkelrote Kategorie) fest zu stellen (50%). An allen anderen Standorten ist der Anteil dieser Kategorie bei den Halbtagesmischproben sichtbar tiefer (21%-30%).

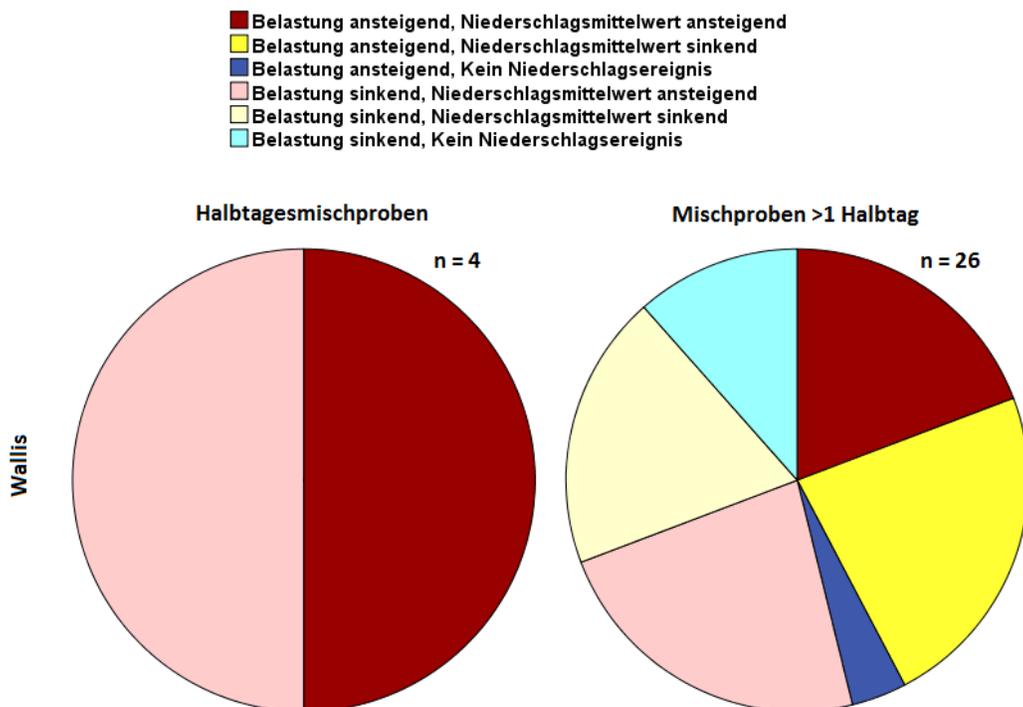


ABBILDUNG 9: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN OHNE ABFLUSSDATEN AM STANDORT WALLIS, UNTERTEILT NACH MISCHPROBENTYP

Am Standort Wallis gibt es im ganzen nur vier Halbtagesmischproben, die andere Mischproben nicht unterbrechen. Bei ansteigenden Niederschlagsmittelwerten zeigen diese jeweils zweimal ansteigende und sinkende PSM-Summenkonzentrationen. Bei den länger andauernden Mischproben sind die Kategorien viel diverser. Die Kategorienanteile sind mit einer Ausnahme alle etwa vergleichbar gross (Ausnahme dunkelblaue Kategorie). Zudem sank statt stieg die Belastung häufiger während den niederschlagsfreien Mischproben, was gemäss Hypothese i zu erwarten war.

Diskussion

Mithilfe der kombinierten Kategorisierung können die einzelnen Mischproben bezüglich dem Verhalten ihrer meteorologisch-hydrologischen Bedingungen einzeln und mit Inbezugnahme des Verhaltens der entsprechenden Belastungsänderung interpretiert werden. Dies lässt teilweise Rückschlüsse auf die Eintragsprozesse der PSM zu (vgl. Tab. 6).

TABELLE 6: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG DER MISCHPROBEN (UNTERBRECHENDE HALBTAGESMISCHPROBEN AUSGESCHLOSSEN).

INTERPRETATIONEN DER METEOROLOGISCH-HYDROLOGISCHEN SITUATION UND MIT INBEZUGNAHME DES VERHALTENS DER BELASTUNGEN.

Meteorologisch-hydrologische Situation				Inbezugnahme der PSM-Belastungen		
Delta-Niederschlagsmittelwert pro Mischprobe	Delta-Abflussmittelwert pro Mischprobe	Beschreibung der Kategorie	Interpretation	Delta-PSM-Summenkonzentration pro Mischprobe	Interpretation	Farbcode Kategorie
positiv	positiv	Niederschlag detektiert, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend	Regenintensivere und abflussreichere Zeitspanne: Genug Niederschlag, um Abflussanstieg auszulösen.	positiv	Niederschlag vermag grössere PSM-Vorräte oder neue PSM-Quellen zu lösen. Einträge aus diffusen Quellen am wahrscheinlichsten. Gemäss Hypothesen i und ii wird eine hohe Belegung der Mischproben in dieser Kategorie erwartet .	rot
				negativ	Niederschlag vermag nicht grössere PSM-Vorräte zu lösen und/oder bestehende Quellen werden aufgebraucht. Neue PSM-Quellen bei Halbtagesmischproben wahrscheinlich auszuschliessen.	rosa
positiv	negativ	Niederschlag detektiert, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend	Regenintensivere aber abflussärmere Zeitspanne: Dem Verhalten des Niederschlags entsprechend ansteigende Abflussreaktion fällt aus. Mögliche Gründe: Bodenwasserspeicherung, Starke Verdunstung, methodische Artefakte*	positiv	Trotz ansteigendem Niederschlag und sinkenden Abflussraten unerwartete ansteigende Belastungen.	gelb
				negativ	PSM-Vorräte von diffusen Quellen nehmen ab. Neue zusätzliche PSM-Quellen bei Halbtagesmischproben wahrscheinlich auszuschliessen.	orange
negativ	positiv	Niederschlag detektiert, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend	Regenärmere aber abflussreichere Zeitspanne: Niederschlagsmittelwert nimmt zwar ab, ist aber immer noch genügend hoch, um Abflussreaktion auszulösen. Mögliche Gründe: gesättigte Böden, methodisches Artefakte*	positiv	Niederschlag vermag grössere PSM-Vorräte oder neue PSM-Quellen zu lösen. Gemäss Hypothesen i und ii wird eine hohe Belegung der Mischproben in dieser Kategorie erwartet .	gelblich
				negativ	Niederschlag vermag nicht grössere PSM-Vorräte zu lösen und/oder bestehende Quellen werden aufgebraucht. Neue PSM-Quellen bei Halbtagesmischproben wahrscheinlich auszuschliessen.	gelblich
negativ	negativ	Niederschlag detektiert, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend	Regenärmere und abflussärmere Zeitspanne: Zu wenig Niederschlag, entsprechend ansteigende Abflussreaktion fällt aus.	positiv	Trotz sinkenden Abflussraten unerwartete ansteigende Belastungen.	grün
				negativ	PSM-Vorräte nehmen ab. Neue zusätzliche, grössere PSM-Quellen bei Halbtagesmischproben wahrscheinlich auszuschliessen.	hellgrün
Niederschlagsmittelwert = 0mm	positiv	Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend	*Methodisches Artefakt: Aufgrund zu grosser räumlicher Distanz der zwei Messstationen ist der Abflussanstieg nicht durch Niederschlag erklärbar.	positiv	Abflussanstieg unerwartet. Ansteigende Belastung nicht mit Niederschlag zu erklären. Einträge von Punktquellen wahrscheinlich.	violett
				negativ	Belastung nicht durch Niederschläge ausgelöst, ansteigender Abfluss mit zusätzlich sinkender Belastung unerwartet. Neue PSM-Quellen wahrscheinlich auszuschliessen.	lila
Niederschlagsmittelwert = 0mm	negativ	Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend	Aufgrund fehlendem Niederschlag gleicht sich der Abfluss dem Basisabfluss an.	positiv	Ansteigende Belastung nicht mit Niederschlag zu erklären. Einträge von Punktquellen wahrscheinlich.	blau
				negativ	Sinkender Abfluss bei ausbleibendem Regenereignis erwartet. Belastung nicht durch Niederschläge ausgelöst, neue PSM-Quellen wahrscheinlich auszuschliessen. Gemäss Hypothese i und ii wird eine hohe Belegung der Mischproben in dieser Kategorie erwartet .	hellblau

Falls es ein Niederschlagsereignis gab (Niederschlagsmittelwert ansteigend oder sinkend) und zusätzlich der Abfluss anstieg, so kann davon ausgegangen werden, dass das Niederschlagsereignis stark genug war, um eine zeitlich unmittelbare Abflussreaktion auszulösen. Dies zeigen deutlich mehr als die Hälfte aller Halbtagesmischproben (n = 31, 64% aller Halbtagesmischproben) und nur ein kleiner Teil der länger dauernden Mischproben (n = 20, 19% aller länger andauernden Mischproben; n total = 51, 33% aller Mischproben, vgl. Tab. A 2 und A 3). Unter diesen Bedingungen (Niederschlagsmittelwert ansteigend oder sinkend, ansteigender Abflussmittelwert) sind gemäss der in dieser Arbeit postulierten Hypothesen i und ii Einträge von PSM am ehesten zu erwarten (dunkelrote und gelbe Kategorie, vgl. Tab. 6). Eine ansteigende statt sinkende PSM-Summenkonzentration ist eher zu erwarten, weil die Umweltbedingungen für die Mobilisierung zusätzlicher PSM-Vorräte auf dem Feld am geeignetsten sind (dunkelrote Kategorie). Halbtagesmischproben erfüllen die Erwartungshaltungen deutlich besser als länger andauernde Mischproben. Die Belastung stieg bei Halbtagesmischproben mit Niederschlag und ansteigenden Abflussmittelwerten deutlich häufiger als dass sie sank (43% respektive 21% aller Halbtagesmischproben), wobei sich die Mehrheit dieser Halbtagesmischproben erwartungsgemäss bei ansteigenden Niederschlagsmittelwerten (33%) als bei sinkenden Niederschlagsmittelwerten (10%) zeigt. Nur 7% der länger andauernden Mischproben zeigen ansteigende Belastungen bei Niederschlag und ansteigenden Abflussmittelwerten. Gesamthaft fallen 18% aller Mischproben in die dunkelrote beziehungsweise gelbe Kategorie.

Falls während einer Mischprobe kein Niederschlag fiel und der Abflussmittelwert sank, so wären gemäss der Hypothesen keine zusätzlichen PSM-Einträge von diffusen Quellen zu erwarten: Die PSM-Summenkonzentration müsste sinken. 12% aller Mischproben zeigen dieses Verhalten (hellblaue Kategorie), wobei sich die Anteile pro Mischprobentyp fast nicht unterscheiden (10% aller Halbtagesmischproben, 12% aller länger andauernden Mischproben). Ansteigende Belastungen bei ausbleibendem Niederschlag zeigen 6% aller Mischproben, unabhängig vom Verhalten des Abflusses (ansteigende und sinkende Abflussmittelwerte). Diese ansteigende Belastungen können nicht durch Niederschläge ausgelöst worden sein. Abflussraten zeigen mit Belastungskonzentrationen bei Eintragungszeitpunkten von Punktquellen keine Korrelationen (Leu et al. 2004b; Leu et al. 2005), sind also bei Punktquellen unabhängig von der Belastung und können folglich nicht zur Erueierung von Einträgen von Punktquellen beitragen. Weiss man hingegen, ob es während einer Zeitspanne geregnet hat oder nicht, sind Phasen potentieller Punktquelleneinträge auszumachen. Mit hoher Wahrscheinlichkeit muss es sich bei den violetten und dunkelblauen Kategorien um Einträge aus Punktquellen handeln (ansteigende Belastungen). An jedem Standort wurde mindestens eine Mischprobe mit einem solchen Verhalten analysiert (Standort Bern und Basel jeweils eine, Standort Thurgau und Tessin jeweils zwei respektive drei Mischproben), wobei dieses Verhalten mit einer Ausnahme nur länger andauernde Mischproben zeigen. Es

muss jedoch angemerkt werden, dass Punktquellen logischerweise auch bei Niederschlag eingetragen werden können. Zudem könnten Punktquellen auch während Mischproben eingetragen wurden, die sinkende Belastungen zeigen und somit nicht genügend hoch und lang waren, um einen ausreichenden Einfluss auf die PSM-Summenkonzentration pro variierende Mischprobedauer zu haben, um im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe als ansteigende Belastung kategorisiert zu werden. Hier muss jedoch deutlich gemacht werden, dass Belastungen durch Punktquellen mit der zeitlichen Auflösung der PSM-Summenkonzentrationen in dieser Arbeit nicht klar identifiziert werden können. Mit den in dieser Arbeit verwendeten Belastungskonzentrationswerten und deren entsprechend den unterschiedlichen Mischprobenzeitspannen gemittelten Werte der Umweltvariablen ist es nicht möglich, Belastungen von Punktquellen eindeutig von Belastungen aus diffusen Quellen zu unterscheiden. Dieser Umstand ist hauptsächlich durch die zu grobe zeitliche Auflösung der Mischproben (feinste zeitliche Auflösung: 12 Stunden) bzw. der PSM-Summenkonzentrationen geschuldet. Kurzzeitigere Belastungsschwankungen konnten somit nicht erfasst werden. Eine höhere zeitliche Abtastraste wäre jedoch massgeblich entscheidend, um Belastungen durch Punktquellen zu eruieren, da diese typischerweise Konzentrationsspitzen von wenigen Minuten zeigen (Leu et al. 2005).

Gemäss der in dieser Arbeit postulierten Hypothesen und den Begründungen in Tab. 6 wurde der grösste Anteil an Mischproben in der dunkelroten, gelben sowie hellblauen Kategorie erwartet (vgl. Tab. 6). Vergleicht man diese Kategorienanteile überregional, so kann folgendes festgehalten werden. Am Standort Thurgau wurde die grösste Anzahl sowie der grösste Anteil Mischproben registriert, welche die passendsten Umweltbedingungen für die Einträge von diffusen Quellen zeigen sowie durch ansteigende Belastungskonzentrationen charakterisiert sind (dunkelrote Kategorie, ausschliesslich Halbtagesmischproben, $n = 8$, 16% aller Mischproben am Standort Thurgau). Es muss jedoch angemerkt werden, dass die Anteile dieser Kategorie bei den anderen Standorten unabhängig vom Mischprobentyp fast genau so gross sind (11%-15%). Einträge aus diffusen Quellen sind auch während Mischproben zu erwarten, die in die gelbe Kategorie fielen, welche sich im Vergleich zur dunkelrote Kategorie durch sinkende statt ansteigende Niederschlagsmittelwerte charakterisieren. Wieder variieren die Anteile der Mischproben in dieser Kategorie nur geringfügig über die Standorte, zeigen jedoch deutlich tiefere Anteile (2% bis 6% aller Mischproben pro Standort). Am Standort Tessin ist dieser Anteil am grössten (6% aller Mischproben am Standort Tessin), wobei nur Halbtagesmischproben ein solches Verhalten zeigen. Bei ausbleibendem Niederschlag und sinkenden Abflussmittelwerten müsste gemäss den Hypothesen die Belastung sinken, vorausgesetzt, die Einträge werden nur durch Niederschlagsereignisse ausgelöst. Der mit Abstand grösste Anteil an Mischproben in der hellblauen Kategorie wurde am Standort Thurgau festgestellt (25% aller Halbtagemischproben, 21% aller länger andauernden Mischproben, 22% aller Mischproben am Standort

Thurgau). Bei allen anderen Standorten liegen die jeweiligen Anteile der hellblauen Kategorie unter 10% (vgl. Tab. A 3).

Methodische Limitationen

Hauptziel von NAWA SPEZ II war es zwar, Spitzenkonzentrationen von Belastungen zu erfassen. Dies wurde mit der Auswahl der Zeitpunkte der Halbtagesmischproben gezielt versucht. Die Auswahl der Halbtagesmischprobenzeitpunkte orientierte sich an ansteigenden Pegelständen oder einsetzenden Niederschlagsereignissen, also dann, wenn höhere Belastungen erfahrungsgemäss zu erwarten sind (Doppler et al. 2017). Somit liegt es nahe, die eine möglicherweise erhöhte Belegung der Kategorien der Halbtagesmischproben mit ansteigenden Werten und die möglicherweise erhöhte Belegung der Kategorien der länger andauernden Mischproben mit sinkenden Werten durch methodische Beeinflussung zu erklären. Um dies zu überprüfen, wurde die gegenseitige Beeinflussung der zwei Mischprobentypen untersucht. Als erstes wurde überprüft, ob Halbtagesmischproben systematisch höhere Werte als länger andauernde Mischproben zeigen und umgekehrt.

Der Einfluss der zwei Mischprobentypen auf die Resultate kann als gross bezeichnet werden. Die über alle Standorte aufsummierte Anzahl Mischproben unterscheiden sich zwischen der Unterteilung nach Mischprobentyp deutlich. Länger andauernde Mischproben zeigen mit einer Ausnahme mehr sinkende statt ansteigende Werte bei allen untersuchten Parameter. Bei den Halbtagesmischproben zeigt sich das Gegenteil. Sie charakterisieren sich überwiegend durch ein ansteigendes Verhalten ihrer Parameterwerte (59-72%). Je nach Parameter sind 53% bis 76% aller Mischproben Halbtagesmischproben mit positiven Delta-Werten oder länger andauernde Mischproben mit negativen Delta-Werten (vgl. Tab. 7).

TABELLE 7: ÜBERPRÜFUNG DER MÖGLICHEN GEGENSEITIGEN BEEINFLUSSUNG VON HALBTAGESMISCHPROBEN (HTMP) AUF LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBEN (MP >1HT) UND UMGEKEHRT, AUFGETEILT NACH PARAMETER. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE. DIE UNTERSCHIEDLICHE ANZAHL ALLER VGL. MISCHPROBEN PRO PARAMETER IST BEI DELTA-NIEDERSCHLAG DURCH DIE ZUSÄTZLICHE KATEGORIE „NIEDERSCHLAGSMITTELWERT = OMM“, BEI DELTA-ABFLUSS DURCH DIE FEHLENDEN ABFLUSSDATEN AM STANDORT WALLIS ZU ERKLÄREN.

Parameter	Vorzeichen	Mischprobentyp	Anzahl	Anteil
Delta-PSM-Summenkonzentration	Positiv	HTMP	58	59% aller vgl. HTMP (n = 98)
	Negativ	MP >1HT	83	62% aller vgl. MP >1HT (n = 134)
		Total	141	61% aller vgl. MP (n = 232)
Delta-Niederschlagsmittelwert	Positiv	HTMP	61	62% aller vgl. HTMP (n = 98)
	Negativ	MP >1HT	55	40% aller vgl. MP >1HT (n = 139)
		Total	126	53% aller vgl. MP (n = 237)
Delta-Abflussmittelwert	Positiv	HTMP	55	72% aller vgl. HTMP (n = 76)
	Negativ	MP >1HT	85	79% aller vgl. MP >1HT (n = 108)
		Total	140	76% aller vgl. MP (n = 184)

Zusätzlich wurden die Übergänge der Mischproben nach Mischprobentyp untersucht und quantifiziert. Nicht immer wechseln sich Halbtagesmischproben und länger andauernde Mischproben alternierend ab. Trotzdem ist der Einfluss der Übergänge der Mischproben nicht zu unterschätzen. Die Untersuchung der Mischprobenübergänge nach Mischprobentypen zeigt, dass bei 36.7% aller Übergänge eine Halbtagesmischprobe auf eine länger andauernde Mischprobe folgt (16.4%) oder eine solche unterbricht (20.3%), wobei letzteres bei fast der Hälfte aller Halbtagesmischproben vorkommt ($n = 47$ von $n_{\text{Halbtagesmischproben total}} = 104$). Der Übergang von einer länger andauernden Mischprobe auf eine Halbtagesmischprobe zeigt sich bei 19.0% aller Übergänge. Gesamthaft wechseln sich die zwei Mischprobentypen im zeitlichen Verlauf folglich bei etwas mehr als der Hälfte ab (55.7%). Die alternierende Abwechslung der zwei Mischprobentypen kann somit bei mehr als der Hälfte aller Übergänge bestätigt werden (vgl. Abb. 10).

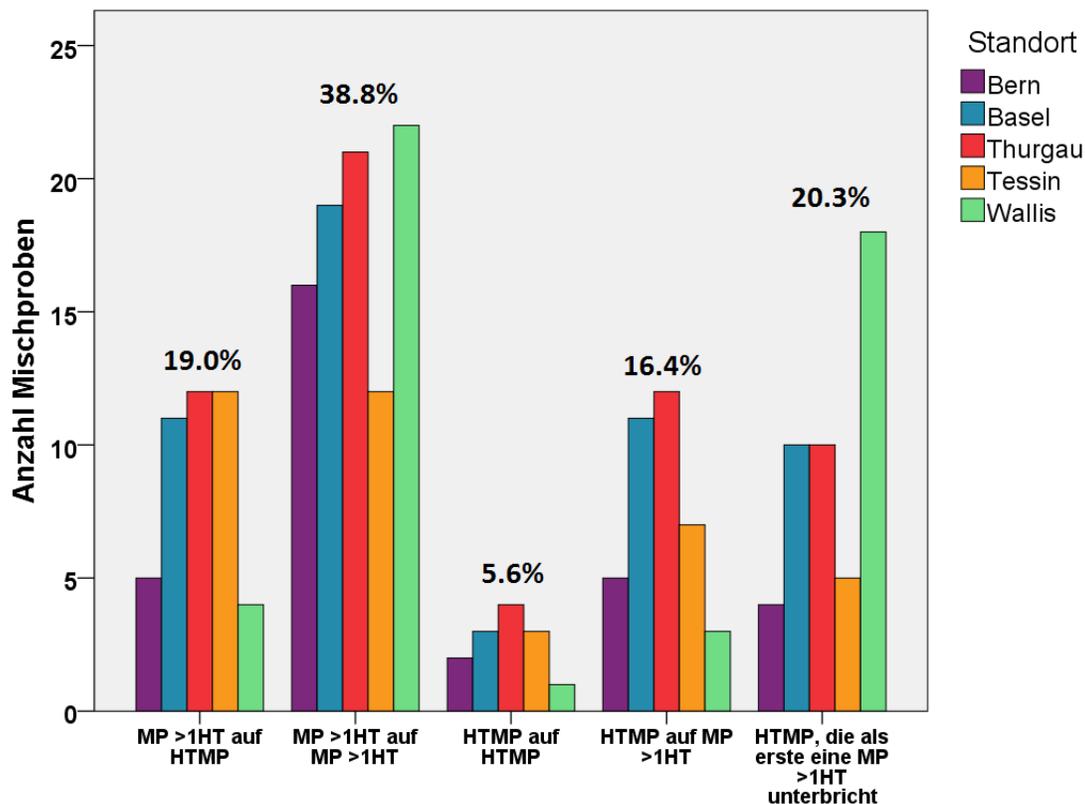


ABBILDUNG 10: VERTEILUNG, ANZAHL UND ANTEILE DER ÜBERGÄNGE DER EINZELNEN MISCHPROBEN GEMÄSS MISCHPROBENTYP (HTMP: HALBTAGESMISCHPROBE, MP >1HT: LÄNGER ANDAUERENDE MISCHPROBE (>1 HALBTAG)). 47 HTMP UNTERBRECHEN IM ZEITLICHEN VERLAUF ALS ERSTE EINE MP >1HT (20.3% ALLER ÜBERGÄNGE). TOTAL 232 VERGLEICHBARE MISCHPROBEN BZW. 232 ÜBERGÄNGE (100%).

Die Differenzierung zwischen den zwei Mischprobentypen zeigt einen grossen Einfluss auf die in dieser Arbeit präsentierten Resultate. Obwohl die Varianz der Mischprobenzeitspannen unter den länger andauernden Mischproben sehr hoch ist (zwei Halbtage bis 48 Halbtage), wurden die Mischproben dieses Mischprobentyps alle gleichbehandelt. Diese zeitliche Grenze der Einteilung der Mischprobentypen wurde willkürlich gezogen und wird durch den hohen Anteil Halbtagesmischproben legitimiert (vgl. Tab. 2). Wäre diese Grenze nach einer höheren Anzahl Halbtage gezogen worden, würden die in dieser Arbeit präsentierten Resultate womöglich anders ausfallen. Auch ein zusätzlicher dritter Mischprobentyp (zum Beispiel Tagesmischproben) hätte die Resultate verändert und möglicherweise zu anderen Erkenntnissen geführt. Des Weiteren berücksichtigen die Delta-Werte nicht den einflussreichen, in Anzahl und zeitlicher Abfolge variierender Mischprobentyp der zeitlich vorangehenden Mischprobe. Die Vergleichbarkeit der Anteile der kombinierten Kategorien innerhalb sowie zwischen den Standorten wird dadurch limitiert. Des Weiteren darf beim Vergleich der Kategorienanteile zwischen den Standorten der Einfluss der unterschiedlichen Mischprobenzeitspannen, -Anzahl und -Häufigkeiten pro Standort nicht vernachlässigt werden. Wie hoch diese Einflüsse sind, wäre in einer weiterführenden Arbeit untersuchungswürdig.

2.2.3 QUALITATIVER BESCHRIEB UND INHALTLICHE INTERPRETATION STANDORTSPEZIFISCHER RESULTATE

2.2.3.1 Standort Basel

Ausgehend von den in dieser Arbeit postulierten Hypothesen zeigt sich am Standort Basel ein unerwartetes Zusammenspiel der zeitlichen Verläufe der PSM-Summenkonzentrationen, Niederschläge und den Abflussraten/Pegelstände. Mehrere hohe Niederschlagsspitzen (> 10mm / Halbtag) zeigen an entsprechenden Zeitpunkten keine erwarteten PSM-Spitzenkonzentrationen. Auch umgekehrt fielen während den drei höchsten PSM-Summenkonzentrationen eher geringe Niederschlagssummen unter 10mm / Halbtag.

Mitte April bis Anfangs Mai zeigt sich die erste längere Phase mit relativ hohen PSM-Summenkonzentrationen. In dieser Phase fiel während der ersten länger andauernden Mischprobe kein Niederschlag (dunkelblaue Kategorie), während der zweiten länger andauernden Mischprobe mit 12'289 ng / L PSM-Summenkonzentration (pastellgrüne Kategorie) fiel fast kein Niederschlag (0.2 mm Niederschlagssumme, 0.015 mm Niederschlagsmittelwert). Diese relativ hohen Belastungskonzentrationen können somit nicht durch Niederschläge erklärt werden. Bei der gezielten Nachmessungskampagne des NAWA SPEZ II-Programms wurde die letztere Mischprobe bei einer höheren zeitlichen Auflösung (einzelne Halbtagesmischproben) auf mögliche kurzzeitigere Belastungsanstiege untersucht, welche an dieser Stelle erfolgreich festgestellt werden konnten. Diese Belastungsanstiege sind somit höchstwahrscheinlich auf Punktquellen zurück zu führen (vgl. Doppler et al. 2017). Nach diesen länger andauernden Mischproben führen erstaunlicherweise die hohen Niederschläge um den ersten Mai zu keinen vergleichsweise hohen Spitzenkonzentrationen. Der Verlauf der PSM-Summenkonzentrationskurve nimmt ab Ende April in dieser Phase kontinuierlich ab, während der Abfluss gleichzeitig mit den Niederschlägen die höchsten Werte während der ganzen Beprobungszeitspanne zeigt. Hier wären gemäss der Hypothese ii eigentlich höhere Belastungskonzentrationen zu erwarten. Ähnlich hohe Niederschläge fielen ca. Mitte Juni jedoch mit deutlich geringerer Abflussreaktion. Wieder sanken wider Erwartens die Belastungskonzentrationen. Nach einer längeren Trockenphase folgt die dritte längere Phase mit hohen PSM-Summenkonzentrationen von Mitte Juli bis Ende Juli. Während dieser Phase fielen eher schwache Niederschlagsereignisse (< 5 mm / Halbtag) meistens zeitgleich mit den Halbtagesmischproben mit sichtbarer Abfluss- bzw. Pegelreaktion. Erstaunlicherweise zeigen die unterbrochenen, länger andauernden Mischproben ähnlich hohe PSM-Summenkonzentrationen wie die drei letzten Halbtagesmischproben in diesem Zeitfenster. Die Niederschlagssummen über diese zwei länger andauernden Mischproben sind jedoch sehr tief (Mischprobe oranger Kategorie: 0.8 mm in 4 Tagen; Mischprobe roter Kategorie: 10.0 mm in 6.5 Tagen). Aufgrund der hohen PSM-Summenkonzentrationen, den geringen Niederschlagssummen sowie geringen Abflussraten ist unwahrscheinlich, dass diese hohen Belastungskonzentrationen nur via Niederschläge durch diffuse Quellen eingetragen worden sind. Ab Anfang August zeigen die Pegelstände zeitgleich mit den Niederschlägen eine

Reaktion, was impliziert, dass sich wahrscheinlich ein genügend starker Oberflächenabfluss auf den Feldern gebildet haben kann und dabei applizierte PSM von diffusen Quellen mobilisiert werden konnten. Die PSM-Summenkonzentration stieg anfangs nochmals an, während sie nach der vorletzten Halbtagesmischprobe Mitte August vor allem abnimmt (Ausnahme letzte Halbtagesmischprobe). Die PSM-Summenkonzentrationen sind aber immer noch sehr hoch ($> 2000 \text{ ng / L}$) im Vergleich zu typischen Belastungskonzentrationen an anderen Standorten.

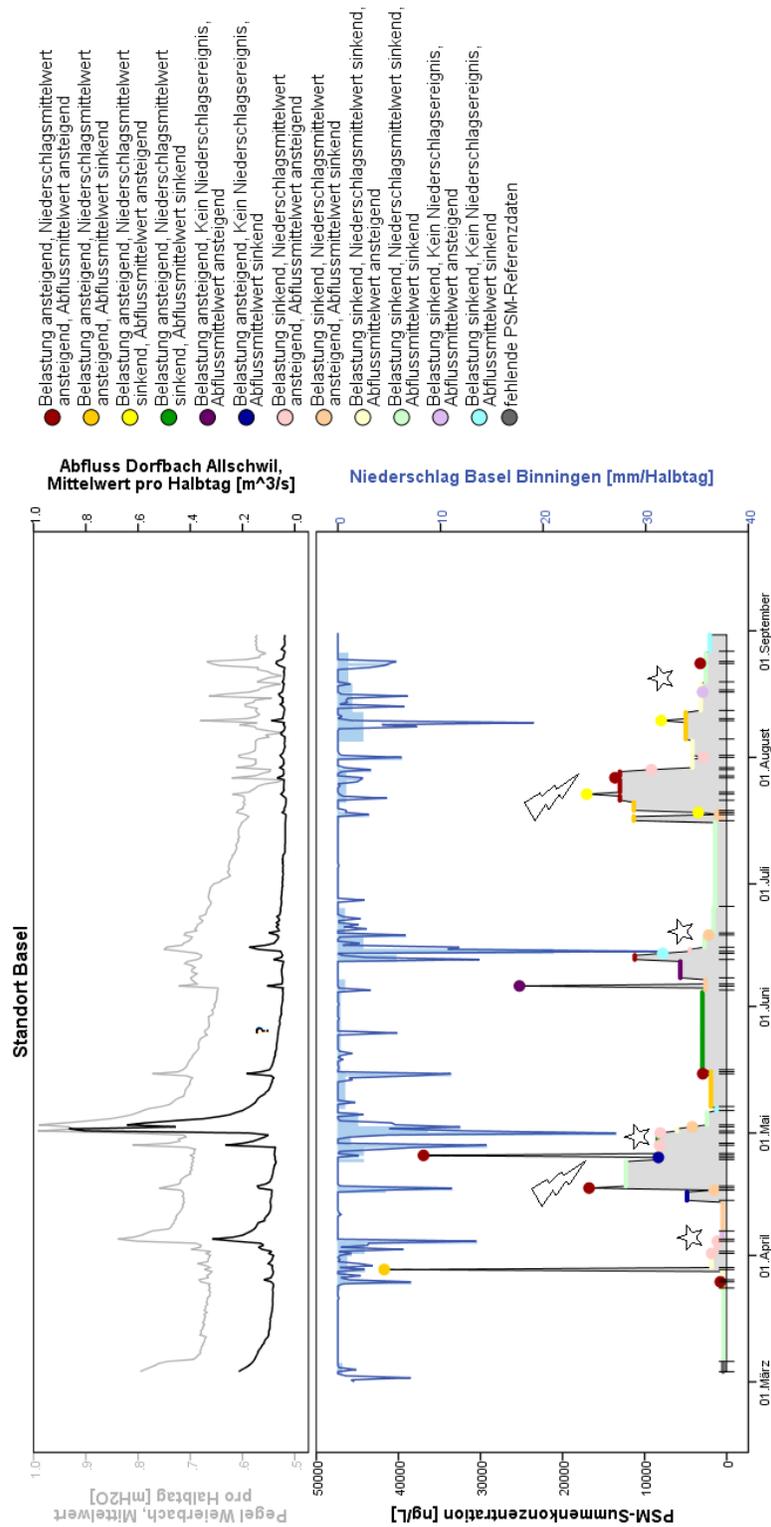


ABBILDUNG 11: STANDORT BASEL: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EIGEFÄRBT NACH KOMBINIERTER KATEGORIE. STERNSYMBOLS MARKIEREN ANDAUERENDE PHASEN MIT SINKENDEN BELASTUNGEN, BLITZSYMBOLS NICHT DURCH NIEDERSCHLÄGE ERKLÄRBARE BELASTUNGEN.

2.2.3.2 Standort Bern

Am Standort Bern fallen allgemein die relativ hohen PSM-Summenkonzentrationen bei länger andauernden Mischproben im Vergleich zu den eher tiefen Konzentrationen der Halbtagesmischproben auf. Es zeigen sich somit allgemein wenige Spitzenkonzentrationen während Halbtagesmischproben, was jedoch durch die geringe Anzahl Halbtagesmischproben am Standort Bern relativiert werden muss ($n = 7$).

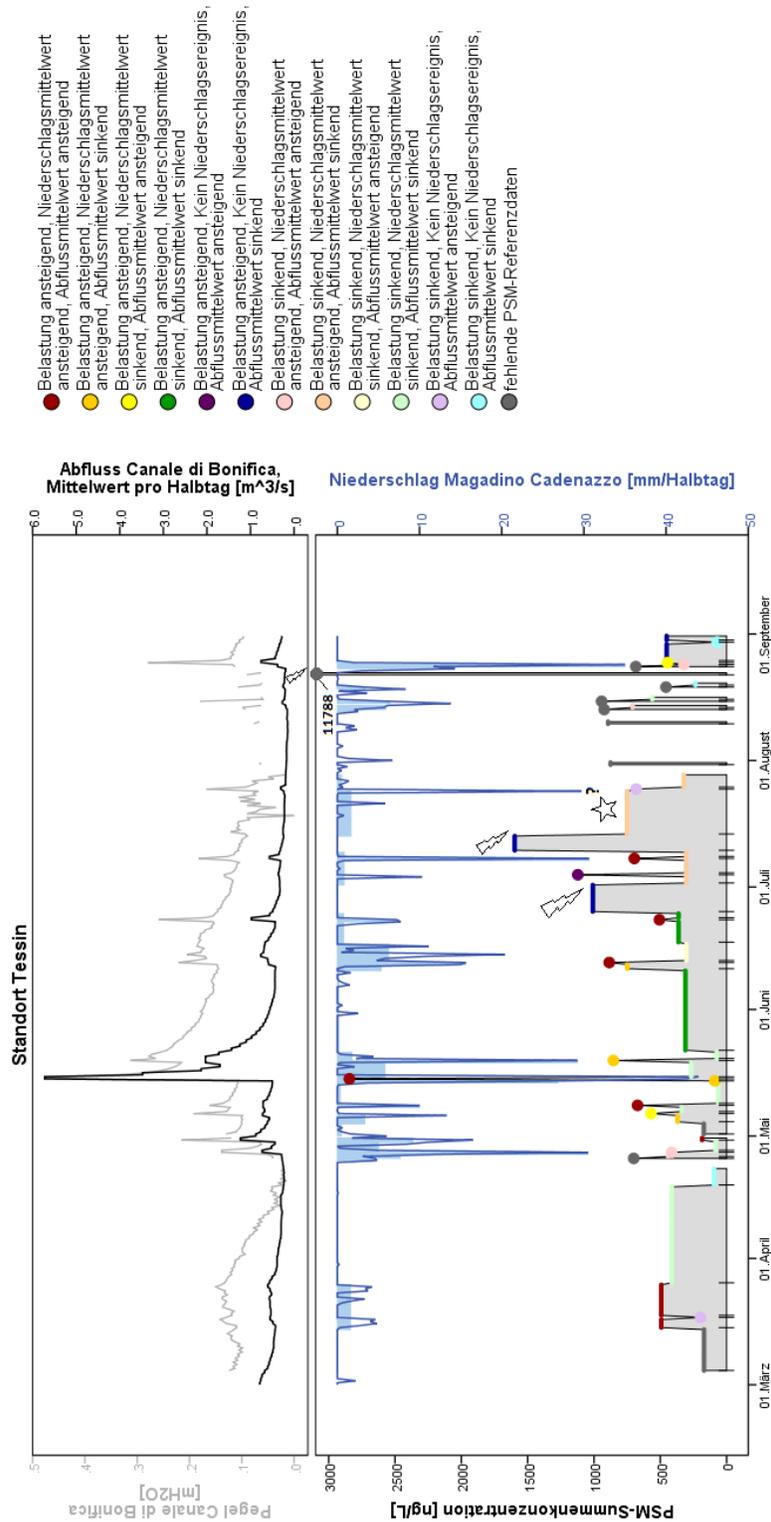
Während den Niederschlagsspitzen am Standort Bern heben sich die PSM-Spitzenkonzentrationen zeitgleich nur bei vier Niederschlagsereignissen deutlich von den länger andauernden Mischproben ab (Anfangs Mai, Mitte Mai und zwei Halbtagesmischproben Mitte Juni). Während fünf stärkeren Niederschlagsereignissen (Niederschlagssummen über 10mm / Halbtage) zeigen sich keine deutlichen PSM-Summenkonzentrationsspitzen. Bei drei Halbtagesmischproben sank die Belastung während diesen Ereignissen sogar. Drei respektive vier ansteigende beziehungsweise hohe PSM-Summenkonzentrationen von länger andauernden Mischproben sind nicht mit entsprechend hohen Niederschlagsmittelwerten erklärbar. Zusätzlich zeigen die mittleren Abflussraten während diesen Zeitspannen ein sinkendes Verhalten.

Auch am Standort Bern sind zwei längere Phasen mit hauptsächlich sinkenden PSM-Summenkonzentrationen ersichtlich. Ab Mitte Juni bis Anfangs Juli zeigt sich die erste längere Phase mit anfangs hoher und anschliessend stetig sinkender Belastung, wobei der Abfluss über den Basisabfluss nur minime Anstiege während der Niederschlagsereignissen zeigt. Drei Halbtagesmischproben unterbrechen dabei die erste längere Mischprobe dieser Phase und verdeutlichen anschaulich die kurzzeitige Varianz der Belastung, wobei diese bei der ersten Halbtagesmischprobe bei hohem Niederschlagsereignis sehr tief ausfällt (58 ng / L). Ab Mitte Juli folgt die nächste deutlich längere Phase mit hauptsächlich abfallenden PSM-Summenkonzentrationen. Während beim ersten stärkeren Niederschlagsereignis (> 10 mm / Halbtage) und deutlicher Abflussreaktion die PSM-Summenkonzentration im Vergleich zur darin eingebetteten Mischprobe unerwartet tiefer liegt, löst das nachfolgende stärkere Niederschlagsereignisse ca. drei Wochen später während einer Halbtagesmischprobe keine deutliche ansteigende PSM-Summenkonzentrationsreaktion aus.

2.2.3.3 Standort Tessin

Der Standort Tessin ist geprägt durch viele intensivere Regenereignisse (> 10 mm / Halbtage), die sich auch häufig mit erhöhten PSM-Summenkonzentrationsspitzen von Halbtagesmischproben paaren. Ansonsten ist eine fast durchgehende Belastungskonzentration von ca. 500 ng / L zu beobachten. Höhere PSM-Summenkonzentrationen (> 500 ng / L) bei länger andauernden Mischproben sind nur Ende Juni und ab Anfangs Juli ersichtlich.

Einige Belastungen am Standort Tessin können nicht mit Niederschlag erklärt werden, wobei mögliche Punktquellen sind in diesen Phasen nicht auszuschliessen sind. Ende Juni gibt es eine Phase ohne Niederschlag sowie sinkenden Abflussmittelwerten, während dessen jedoch die PSM-Summenkonzentration deutlich anstieg und eine Konzentration von ca. 1000 ng / L zeigt. Niederschlag kann also nicht der Auslöser dieser hohen Belastung gewesen sein. Die übernächste längere Mischprobe zeigt dasselbe Verhalten der untersuchten Parameter und markiert den Anfang eines Belastungsblocks mit sinkenden Konzentrationen. Diese Belastung fiel dann aber noch höher aus (1597 ng / L) und kann auch nicht durch Niederschläge erklärt werden (Mischproben ohne Niederschlagsereignis, dunkelblaue Kategorie). Anschliessend sinkt die durchschnittliche Belastung langsam ab. Ein starkes Niederschlagsereignis während einer anschliessenden Halbtagesmischprobe zeigt eine vergleichbar tiefe PSM-Summenkonzentration (682 ng / L) wie die länger andauernde Mischprobe vorher (752 ng / L). Da dieses starke Niederschlagsereignis einen deutlichen Pegelanstieg bewirkt hat, muss es wahrscheinlich stark genug gewesen sein, um auf den betroffenen Feldern einen Oberflächenabfluss ausgelöst zu haben. Der PSM-Vorrat auf diesem Feld scheint jedoch aufgebraucht zu sein, da keine ansteigende Belastung detektiert wurde. Die Wassermassen vom Niederschlagsereignis könnten somit zu einer leichten Verdünnung der bestehenden Konzentration im Bach geführt haben. Gegen Ende August ist bei einer Halbtagesmischprobe die höchste PSM-Summenkonzentration am Standort Tessin nachgewiesen worden, während dessen jedoch kein Niederschlag fiel sowie durch Basisabfluss charakterisiert wird. Diese massiv hohe Belastung von $11'788$ ng / L kann nur durch eine Punktquelle erklärt werden.



- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend
- fehlende PSM-Referenzdaten

ABBILDUNG 13: STANDORT TESSIN: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINIERTER KATEGORIE. STERNSYMBOLS MARKIEREN ANDAUERENDE PHASEN MIT SINKENDEN BELASTUNGEN, BLITZSYMBOLS MARKIEREN NICHT DURCH NIEDERSCHLÄGE ERKLÄRBARE BELASTUNGEN.

2.2.3.4 Standort Thurgau

Von allen Standorten zeigt sich am Standort Thurgau das passendste Zusammenspiel der Niederschlagsereignisse mit den Spitzenkonzentrationen der Halbtagesmischproben. Viele Niederschlagsereignisse, die jeweils auch häufig ansteigende Abflussmittelwerten zeigen, können somit als Auslöser für PSM-Einträge in den Eschelisbach verantwortlich gemacht werden (vgl. Kap. 2.2.2). Anfangs des letzten Aprildrittels zeigt eine Mischprobe von 4 Halbtagen eine nicht durch Niederschläge erklärbare ansteigende Belastung während sinkenden Abflussmittelwerten (dunkelblaue Kategorie). Das extreme Niederschlagsereignis am 14. Juni 2015 mit 95.3 mm Niederschlag pro Halbtag und sehr deutlicher Abflussreaktion führte zur drittgrössten gemessener Belastung am Standort Thurgau (9934 ng / L). Diese PSM-Summenkonzentration wird jedoch von zwei Halbtagesmischproben mit geringeren Abflussraten und schwächeren Niederschlagsereignissen übertroffen. Diese tiefere PSM-Summenkonzentration könnte durch einen tieferen PSM-Vorrat auf dem Feld oder durch einen Verdünnungseffekt aufgrund der massiven Wassermengen während diesem extrem starken Niederschlagsereignis erklärt werden. Wenige Tage später wäre gemäss der kombinierten Kategorisierung (dunkelblaue Kategorie) ein Eintrag bei einer Halbtagesmischprobe durch eine Punktquelle nicht auszuschliessen, da kein Niederschlag während dieses Halbtages fiel. Der Pegel ist an diesen Zeitpunkt jedoch stets sehr hoch und die Belastung steigt im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe nur minim an. Diese Belastungskonzentration ist somit wahrscheinlich immer noch den Einträgen aus diffusen Quellen zuzuschreiben, die mit dem extrem starken Niederschlagsereignis vom 14. Juni ausgelöst worden sind.

Das Verhalten der PSM-Summenkonzentrationen bei länger andauernden Mischproben ist gekennzeichnet durch ständige Zu- und Abnahmen, wobei die durchschnittliche Belastung im Laufe der Beprobungszeitspanne stetig zuzunehmen scheint. In der zweiten Julihälfte ist eine ansteigende Belastungsphase besonders vor zu heben. Dort folgen zwei länger andauernde Mischproben mit hohen PSM-Summenkonzentrationen (3947 und 5397 ng / L) aufeinander, wobei beide Mischproben ansteigende Belastungen und sinkende Abflussmittelwerte zeigen (orange Kategorie). Während diesen zwei gleichlangen Mischprobenzeitspannen fiel sehr wenig Niederschlag (4.5 mm respektive 4.8 mm Niederschlagssumme pro Mischprobendauer von jeweils elf Halbtagen). Zudem ist der Abfluss während diesen Mischproben im Vergleich während den Frühlingsmonaten sehr tief. Aus diesen Gründen wären zusätzliche Einträge von Punktquellen während dieser Zeitspannen nicht auszuschliessen. Die zeitlich zu Halbtagesmischproben aufgelöste Nachmessung von NAWA SPEZ II zeigte, dass die Belastungen vom 16. Bis 22. Juli 2015 am Eschelisbach jedoch nicht sehr stark schwankten und somit nicht das typische Verlaufsmuster von Einträgen aus Punktquellen ersichtlich ist. Die Autoren vermuten, dass diese hohen Belastungen während dieser Phase durch künstliche Bewässerung verursacht worden sind (Doppler et al.

2017). Während der ersten Halbtagesmischprobe in dieser Zeitspanne mit einer überraschenderweise deutlich tieferen Belastungskonzentration (2156 ng / L) als bei den zwei länger andauernden Mischproben fiel jedoch knapp 10 mm Niederschlag. Dieser führte jedoch wider Erwartens nicht zu einer höheren PSM-Summenkonzentration. Die zwei anschliessenden Halbtagesmischproben bei geringeren Niederschlägen (< 5 mm) zeigen hingegen wieder vergleichbar hohe Belastungskonzentrationen wie während den unterbrochenen länger andauernden Mischproben.

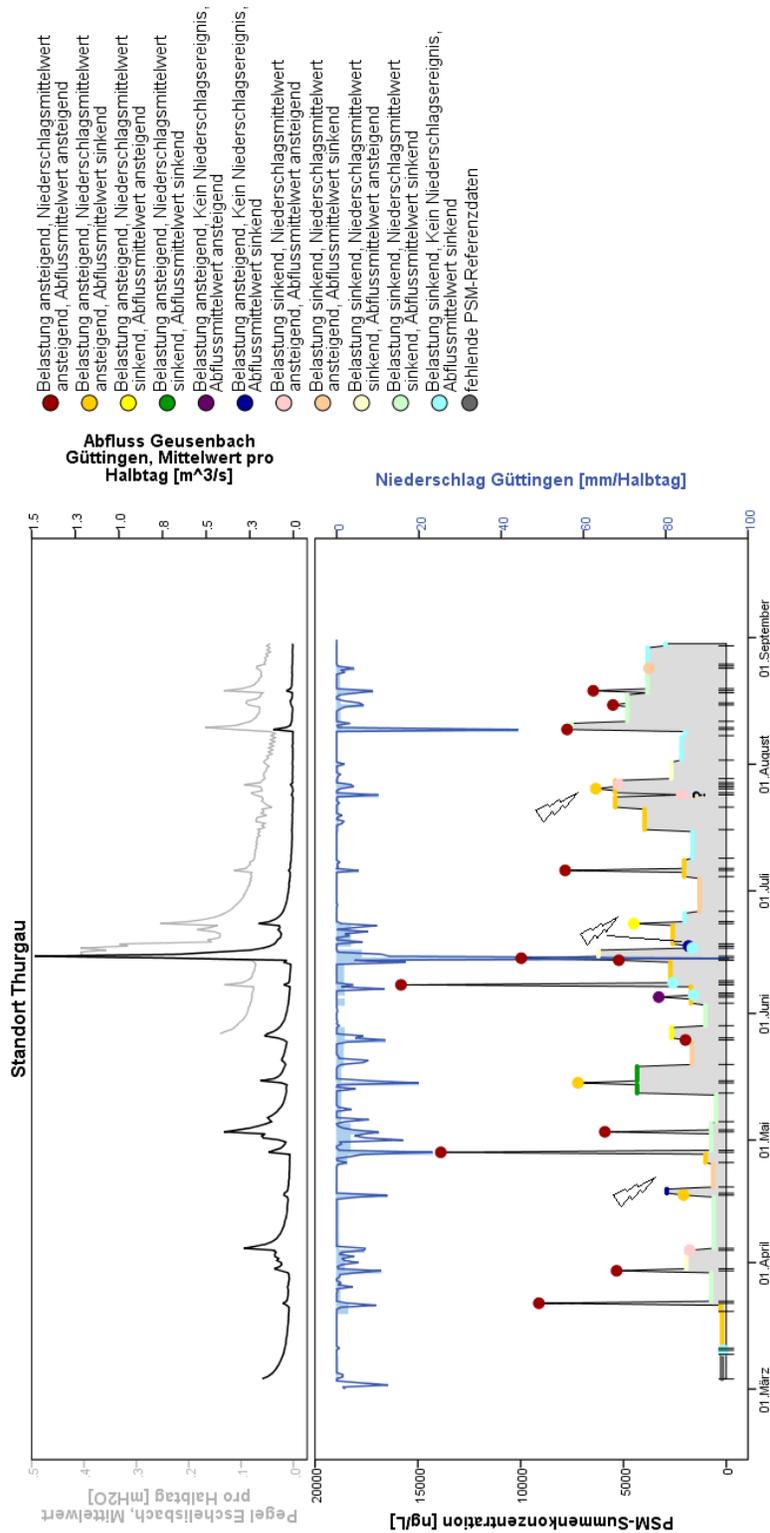


ABBILDUNG 14: STANDORT THURGAU: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU), ABFLUSSRATEN SOWIE PEGELSTÄNDEN IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINIERTER KATEGORIE.

2.2.3.5 Standort Wallis

Allgemein ist die Interpretation des zeitlichen Verlaufs der PSM-Summenkonzentrationen mit den Niederschlägen am Standort Wallis durch fehlende Abfluss- sowie Pegeldata eingeschränkt. Es zeigt sich anfangs der Beprobungszeitspanne eine Phase von knapp zwei monatiger Dauer mit kontinuierlich hohen PSM-Summenkonzentrationen (um 2000 ng / L), wobei kurz vor den hohen Niederschlagssummen ab dem 1. Mai die PSM-Summenkonzentration einer dreitägigen Mischprobe (grüne Kategorie) auf einen unerklärlich tiefen Wert von 153 ng / L zurück fällt. Der Niederschlagsmittelwert während dieser Mischprobe beträgt geringe 0.3 mm und wäre aufgrund der tiefen Belastungskonzentration plausibel. Die sehr lange Mischprobe zeitlich davor (violette Kategorie) zeigt jedoch einen vergleichbar tiefen Niederschlagsmittelwert (0.036 mm), die PSM-Summenkonzentration fiel jedoch bei dieser Mischprobe massiv höher aus (Faktor 15) und kann folglich schlecht ausschliesslich mit dem Niederschlag erklärt werden. Die anschliessend wieder hohen Belastungskonzentrationen ab 1. Mai sind hingegen wieder mit dem Niederschlag zu erklären, da diese hohen PSM-Summenkonzentrationen wahrscheinlich durch die kräftigen Niederschlagsereignisse ausgelöst worden sind. Nach einer Phase mit fehlenden PSM-Summenkonzentrationsdaten scheint die durchschnittliche Belastung der Halbtagesmischproben (Spitzenkonzentrationen) sowie der länger andauernden Mischproben im Laufe der Beprobungszeitspanne stetig abzunehmen. Erstaunlicherweise zeigen drei Halbtagesmischproben im Juli deutlich ansteigende Belastungen ohne zeitgleichem Niederschlagsereignis. Diese ansteigenden Belastungen können somit mit in dieser Arbeit verwendeten Niederschlagsdaten nicht erklärt werden. Es könnte sich bei diesen Belastungen wahrscheinlich um Einträge aus Punktquellen handeln, wobei auch Belastungsanstiege durch mögliche künstliche Bewässerungen der Kulturen im Einzugsgebiet der Tsatonire erklärt werden könnten. Zeitlich hoch aufgelöste Abflussdaten der Tsatonire könnten diese Vermutung verifizieren.

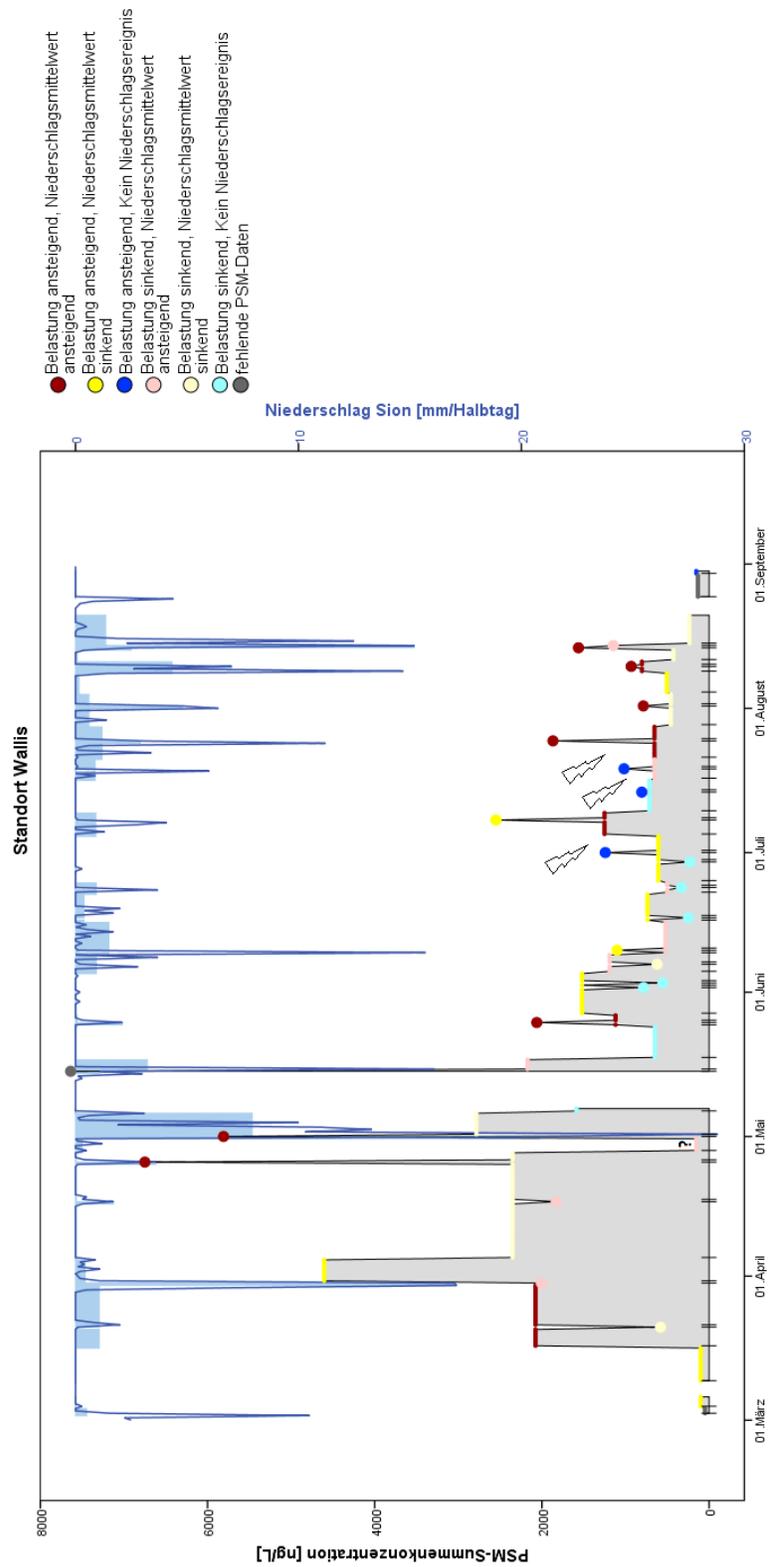


ABBILDUNG 15: STANDORT WALLIS: PSM-SUMMENKONZENTRATION, NIEDERSCHLAGSSUMME PRO HALBTAG (DUNKELBLAU) UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERT PRO MISCHPROBE (HELLBLAU) IM ZEITLICHEN VERLAUF, EINGEFÄRBT NACH KOMBINIERTER KATEGORIE OHNE ABFLUSSDATEN.

3 FAZIT

Die nicht beeinflussbaren natürlichen Umweltbedingungen wie Niederschlag und Abfluss an einem bestimmten Standort sind jährlichen Schwankungen unterworfen und können von extrem viel bis extrem wenig Niederschlag sowie von extrem tiefen bis extrem hohen Abflussraten variieren. Die Belastungskonzentrationen eines Fließgewässers sind somit spezifisch für die meteorologischen und hydrologischen Bedingungen während eines bestimmten Jahres. Ziel des ersten Teils dieser Arbeit war es, diese Bedingungen an den im Projekt NAWA SPEZ II ausgewählten Beprobungsstandorten im Frühling und Sommer 2015 zu untersuchen und zu beurteilen. Dazu wurden unterschiedliche Klimavariablen sowie Abflussraten untersucht, von welchen in der wissenschaftlichen Literatur ausgegangen wird, dass sie einen grossen Einfluss auf das Prozessverhalten von PSM-Einträge in Fließgewässer haben und als Auslöser oder Stellvertreter von PSM-Einträgen bzw. –Belastungen dienen können. Die Resultate der Untersuchung der meteorologischen und hydrologischen Bedingungen zeigen, dass die untersuchten Klimavariablen Niederschlags-Monatssumme, Anzahl Regentage sowie die mittleren monatlichen Abflussraten zwischen März und August 2015 je nach Standort und Monat grundsätzlich variieren. Trotzdem zeigen sich überregional saisonale Trends in den untersuchten Variablen. An keinem Standort zeigten sich ausschliesslich typische Monatswerte aller untersuchten Klimavariablen. Es lässt sich festhalten, dass der Juli 2015 bei allen untersuchten Standorte im Vergleich zur Norm sehr niederschlagsarm war und die den Standorten entsprechenden Fließgewässer in diesem Monat sehr tiefe Abflussraten zeigen. Im Mai 2015 hingegen fielen überregional leicht bis deutlich mehr Niederschlag als üblich. Alle anderen Monate zeigen typischere Werte. Seltene extreme Niederschlagsintensitäten (starke Gewitter) gab es vor allem an den Standorten Thurgau, Wallis und Basel, wobei eines in Thurgau massiv stark und selten war.

Obwohl NAWA SPEZ II keine Prozessstudie war, wurde in vorliegender Arbeit versucht, die erwarteten Zusammenhänge zwischen den PSM-Summenkonzentrationen mit Niederschlag, Abfluss und Pegel aufzuzeigen. Ziel des zweiten Teils dieser Arbeit war es, das Verhalten der PSM-Summenkonzentrationen NAWA SPEZ II mit den Umweltvariablen Niederschlag, Abfluss und Pegel jeweils pro Standort und pro Mischprobendauer zu vergleichen, um diese erwarteten Zusammenhängen zu verifizieren. Die Varianz der Niederschlagsmittelwerte pro variierende Mischprobendauer konnte an keinem Standort die Varianz der PSM-Summenkonzentrationen ausreichend erklären ($R^2 < 0.437$). Es konnte gezeigt und erklärt werden, dass die Niederschlagsmittelwerte ein unzureichender und ungenauer Proxy für die Erklärung von PSM-Summenkonzentrationen pro relativ kurzer Zeiteinheit (Mischprobe) sind. Korrelationen zwischen Abfluss und Belastung waren gemäss diverser wissenschaftlicher Studien bei hoher zeitlichen Auflösung der Daten zu erwarten, konnten mit den in dieser Arbeit verfügbaren Daten mit ihrer tiefen zeitlichen Auflösung jedoch nur an einem Standort bestätigt werden (Standort Tessin, $0.433 < R^2 < 0.712$). An allen anderen Standorten zeigen sich keine eindeutigen

Zusammenhänge ($R^2 < 0.248$). Die Korrelationsanalysen mit den Differenzen der Werten zum zeitlich vorangehenden Wert (Delta-Werte) führten unverhofft zu keinen durchgehend höheren Korrelationskoeffizienten als mit der Korrelationsanalyse der absoluten Werten.

Da die Korrelationsanalysen nicht zu den erhofften Resultaten führten, wurde die Zunahme bzw. Senkung der Parameterwerte pro Mischprobe im Vergleich zur zeitlich vorangehenden Mischprobe kategorisiert, quantifiziert und verglichen. Die Resultate zeigen, dass die Kategorisierung und Quantifizierung der Mischproben stark von der Mischprobendauer beziehungsweise Mischprobentyp abhängig ist. Der Einfluss der Mischprobenlänge auf die Resultate wäre in einer weiterführenden Arbeit untersuchungswürdig. Durch die kombinierte Kategorisierung der Delta-Werte der Parameter PSM-Summenkonzentration, Niederschlagsmittelwert und Abflussmittelwert jeweils pro Mischprobe konnten überregionale Unterschiede zwischen den (erwarteten) Kategorienanteilen pro Standort ausfindig gemacht werden. Am Standort Thurgau erfüllen anteilmässig am meisten Mischproben die Erwartungshaltungen an die Kategorienanteile gemäss in dieser Arbeit postulierten Hypothesen, wobei am Standort Tessin der grösste Anteil an Mischproben festgestellt wurde, welche am ehesten Belastungen aus diffusen Quellen repräsentieren.

4 LITERATUR

- Amt für Wasser und Abfall des Kantons Bern. (2016). Hydrometriedaten Sagibach Worben (BE).
- BAFU. (2015). Flussordnungszahlen nach Strahler für das digitale Gewässernetz 1:25'000 der Schweiz.
- BAFU. (2016). BAFU - Wasser - Nationale Beobachtung Oberflächengewässerqualität. Zugriff: 23.01.2017, URL: <http://www.bafu.admin.ch/wasser/13462/14737/15108/index.html?lang=de>
- Capel, P. D., & Larson, S. J. (2001). Effect of scale on the behavior of atrazine in surface waters. *Environmental Science and Technology*, 35(4), 648–657. <https://doi.org/10.1021/es001220f>
- Doppler, T. (2016). Flächenberechnung der Einzugsgebiete der beprobten Fließgewässer NAWA SPEZ II.
- Doppler, T., Camenzuli, L., Hirzel, G., Krauss, M., Lück, A., & Stamm, C. (2012). Spatial variability of herbicide mobilisation and transport at catchment scale: Insights from a field experiment. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16(7), 1947–1967. <https://doi.org/10.5194/hess-16-1947-2012>
- Doppler, T., Mangold, S., Wittmer, I., Spycher, S., Comte, R., Stamm, C., & Singer, H. (2017). Hohe PSM-Belastung in Schweizer Bächen. *Aqua & Gas*, 4, 46–56.
- Dymond, J. R., & Christian, R. (1982). Accuracy of discharge determined from a rating curve. *Hydrological Sciences Journal*, 27(4), 493–504. <https://doi.org/10.1080/02626668209491128>
- Frey, M. P., Schneider, M. K., Dietzel, A., Reichert, P., & Stamm, C. (2009). Prediction of critical source areas for diffuse herbicide losses to surface waters: role of connectivity and boundary conditions. *Journal of Hydrology*, 365, 23–36.
- Fukutome, S., & Schindler, A. (2015). MeteoSwiss extreme value analyses : User manual and documentation. Technical Report MeteoSwiss, (255), 50 pp.
- Honti, M., Schuwirth, N., Rieckermann, J., & Stamm, C. (2016). Can integrative catchment management mitigate future water quality issues caused by climate change and socio-economic development? *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, (August), 1–28. <https://doi.org/10.5194/hess-2016-297>
- Horton, R. (1933). The role of infiltration in the hydrologic cycle. *Transactions, American Geophysical Union*, 14, 446–460. <https://doi.org/10.1029/TR014i001p00446>
- IBM. (2015). IBM© SPSS© Statistics. IBM Cooperation.

- Leu, C., Schneider, M. K., & Stamm, C. (2010). Estimating catchment vulnerability to diffuse herbicide losses from hydrograph statistics. *Journal of Environmental Quality*, 39(4), 1441–1450.
<https://doi.org/10.2134/jeq2009.0323>
- Leu, C., Singer, H., Müller, S. R., Schwarzenbach, R. P., & Stamm, C. (2005). Comparison of atrazine losses in three small headwater catchments. *Journal of Environmental Quality*, 34(5), 1873–82.
<https://doi.org/10.2134/jeq2005.0049>
- Leu, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S. R., & Schwarzenbach, R. P. (2004a). Simultaneous assessment of sources, processes, and factors influencing herbicide losses to surface waters in a small agricultural catchment. *Environmental Science and Technology*, 38(14), 3827–3834.
<https://doi.org/10.1021/es0499602>
- Leu, C., Singer, H., Stamm, C., Müller, S. R., & Schwarzenbach, R. P. (2004b). Variability of herbicide losses from 13 fields to surface water within a small catchment after a controlled herbicide application. *Environmental Science and Technology*, 38(14), 3835–3841. <https://doi.org/10.1021/es0499593>
- MeteoSchweiz. (2016a). Meteorologische Daten: Extremwertanalysen; Stundenniederschlag; Block Maxima (GEV) Approach. . Zugriff: 15.12.2017, URL:
<http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/klima/vergangenheit/klimaextreme/extremwertanalysen/standardperiode.html?station=mag>
- MeteoSchweiz. (2016b). Meteorologische Daten zu Tageswerten: Niederschlagssummen, grösste Stundensummen, grösste Zehnminutensummen, mittl. Lufttemperatur.
- Mimikou, M. (1982). An investigation of suspended sediment rating curves in western and northern Greece. *Hydrological Sciences Journal*, 27(3), 369–383. <https://doi.org/10.1080/02626668209491116>
- Moschet, C., Wittmer, I., Simovic, J., Junghans, M., Piazzoli, A., Singer, H., ... Hollender, J. (2014). How a complete pesticide screening changes the assessment of surface water quality. *Environmental Science and Technology*, 48(10), 5423–5432. <https://doi.org/10.1021/es500371t>
- Moschet, C., Wittmer, I., Stamm, C., & Singer, H. (2015). Insektizide und Fungizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas*, 4, 54–65.

- Müller, K., Bach, M., Hartmann, H., Spitteller, M., & Frede, H.-G. (1999). Point- and nonpoint-source pesticide contamination in the Zwesten Ohm catchment, Germany. *Journal of Environmental Quality*, 31(1), 309–18. <https://doi.org/10.2134/jeq2002.0309>
- Munz, N., Leu, C., & Wittmer, I. (2012). Pestizidmessungen in Fließgewässern. *Aqua & Gas*, 11, 32–41.
- Neumann, M., Schulz, R., Schäfer, K., Müller, W., Mannheller, W., & Liess, M. (2002). The significance of entry routes as point and non-point sources of pesticides in small streams. *Water Research*, 36(4), 835–842. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00310-4](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00310-4)
- Ng, H. Y. F., & Clegg, S. B. (1997). Atrazine and metolachlor losses in runoff events from an agricultural watershed: The importance of runoff components. *Science of the Total Environment*, 193(3), 215–228. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(96\)05342-9](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(96)05342-9)
- Shipitalo, M. J., & Owens, L. B. (2003). Atrazine, deethylatrazine, and deisopropylatrazine in surface runoff from conservation tilled watersheds. *Environmental Science and Technology*, 37(5), 944–950. <https://doi.org/10.1021/es020870b>
- Singer, H. (2005). Pestizidbelastung von Oberflächengewässer - Auswirkungen der ökologischen Massnahmen in der Landwirtschaft. *Gas, Wasser, Abwasser*, 11, 879–886.
- Smith, R. E. (1974). Point Processes of Seasonal Thunderstorm Rainfall. 3. Relation of Point Rainfall to Storm Areal Properties. *Water Resources Research*, 10(3), 1–3.
- Syed, K. H., Goodrich, D. C., Myers, D. E., & Sorooshian, S. (2003). Spatial characteristics of thunderstorm rainfall fields and their relation to runoff. *Journal of Hydrology*, 271(1–4), 1–21. [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(02\)00311-6](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(02)00311-6)
- Umbricht, A., Fukutome, S., Liniger, M. a, Frei, C., & Appenzeller, C. (2013). Seasonal Variation of Daily Extreme Precipitation in Switzerland. *Scientific Report MeteoSwiss*.
- Wittmer, I., Moschet, C., Simovic, J., Singer, H., Stamm, C., Hollender, J., Junghans, M., Leu, C. (2014). Über 100 Pestizide in Fließgewässern. *Aqua & Gas*, 3, 32–43.

5 ANHANG

5.1 TABELLEN

TABELLE A 1: PARAMETER ZUR BERECHNUNG DER WIEDERKEHRPERIODEN VON EXTREMEN NIEDERSCHLAGSINTENSITÄTEN (MeteoSchweiz 2016a).

Station	Standort	Lage	Skala	Form	Datenverfügbarkeit	Zuverlässigkeit der Ergebnisse
Mühleberg	BE	14.58	3.97	-0.03	1988-2015	fragwürdig
Basel Binningen	BL	16.42	5.1	0.01	1981-2015	gut
Güttingen	TG	13.66	4.79	0.42	1981-2015	fragwürdig
Magadino Cadenazzo	TI	29.8	6.41	-0.02	1981-2015	gut
Montana	VS	8.44	2.06	0	1981-2015	gut
Sion	VS	8.25	2.49	0.24	1981-2015	gut

TABELLE A 2: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG. ANZAHL MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH KATEGORIE, MISCHPROBENTYP UND STANDORT

		Standort												alle Standorte		
		Bern			Basel			Thurgau			Tessin			HTMP	MP >1 HT	alle MP
		HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP			
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	2	2	4	3	2	5	8	0	8	3	2	5	16	6	22
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	1	2	3	1	4	5	1	9	10	2	2	4	5	17	22
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	1	0	1	1	0	1	1	1	2	2	0	2	5	1	6
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	0	2	2	0	2	2	0	1	1	0	2	2	0	7	7
Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	2
Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	0	1	1	0	1	1	1	1	2	0	3	3	1	6	7
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	1	0	1	5	2	7	1	0	1	2	2	4	9	4	13
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	1	6	7	3	3	6	0	3	3	0	3	3	4	15	19
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	1	0	1	0	5	5	0	3	3	0	1	1	1	9	10
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	0	5	5	0	7	7	0	8	8	0	7	7	0	27	27
Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend	Anzahl	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	1	1	1	2
Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend	Anzahl	0	2	2	1	2	3	4	7	11	0	2	2	5	13	18
fehlende PSM-Daten	Anzahl	0	2	2	0	1	1	0	1	1	5	5	10	5	9	14
Total		7	23	30	14	31	45	16	34	50	15	29	44	52	117	169

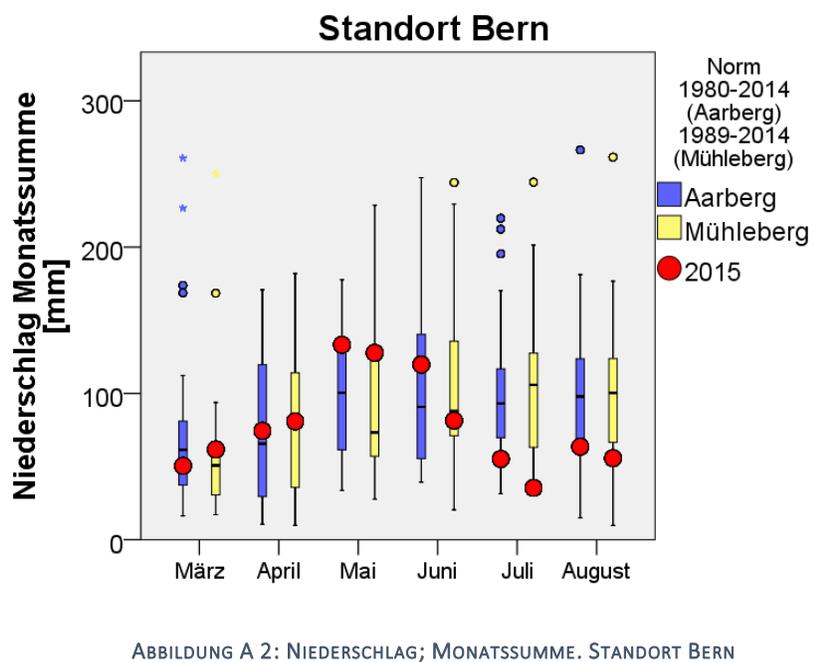
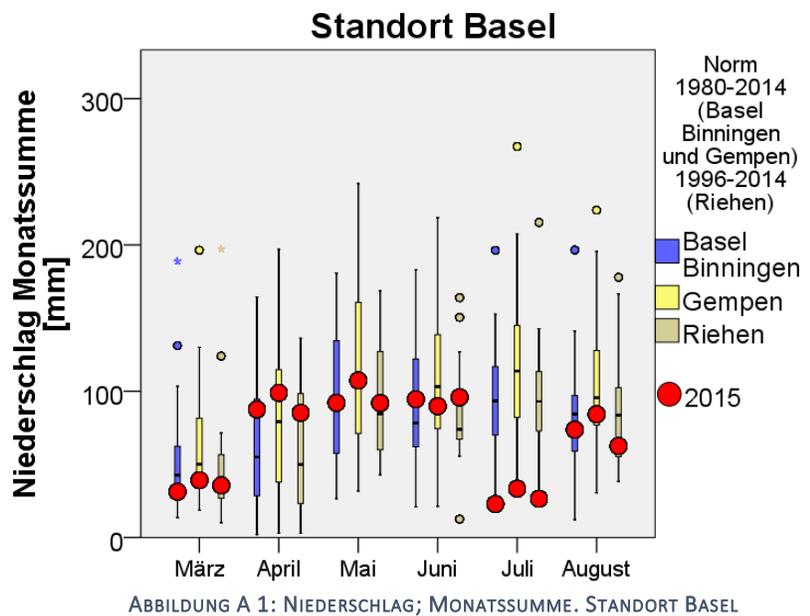
TABELLE A 3: KOMBINIERTE KATEGORISIERUNG. ANTEIL DER MISCHPROBEN, AUFGETEILT NACH KATEGORIE, MISCHPROBENTYP UND STANDORT

		Standort											alle Standorte					
		Bern			Basel			Thurgau			Tessin		HTMP		MP >1 HT		alle MP	
		HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP	HTMP	MP >1 HT	alle MP	Anteil an alle MP ohne NA	Anteil an HTMP ohne NA	Anteil an alle MP ohne NA	Anteil an MP >1HT ohne NA	Anteil an MP total ohne NA
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	29%	10%	14%	21%	7%	11%	50%	0%	16%	30%	8%	15%	10%	33%	4%	6%	14%
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	14%	10%	11%	7%	13%	11%	6%	27%	20%	20%	8%	12%	3%	10%	11%	16%	14%
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	14%	0%	4%	7%	0%	2%	6%	3%	4%	20%	0%	6%	3%	10%	1%	1%	4%
Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	0%	10%	7%	0%	7%	5%	0%	3%	2%	0%	8%	6%	0%	0%	5%	6%	5%
Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	0%	5%	4%	0%	3%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	1%
Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	0%	5%	4%	0%	3%	2%	6%	3%	4%	0%	13%	9%	1%	2%	4%	6%	5%
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	14%	0%	4%	36%	7%	16%	6%	0%	2%	20%	8%	12%	6%	19%	3%	4%	8%
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	14%	29%	25%	21%	10%	14%	0%	9%	6%	0%	13%	9%	3%	8%	10%	14%	12%
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	14%	0%	4%	0%	17%	11%	0%	9%	6%	0%	4%	3%	1%	2%	6%	8%	6%
Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	0%	24%	18%	0%	23%	16%	0%	24%	16%	0%	29%	21%	0%	0%	17%	25%	17%
Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend	Anteil	0%	0%	0%	0%	3%	2%	0%	0%	0%	10%	0%	3%	1%	2%	1%	1%	1%
Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend	Anteil	0%	10%	7%	7%	7%	7%	25%	21%	22%	0%	8%	6%	3%	10%	8%	12%	12%
	Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	30%	100%	70%	100%	100%

5.2 ABBILDUNGEN

5.2.1 AUSWAHL DER METEOSTATIONEN

5.2.1.1 Niederschlag; Monatssummen



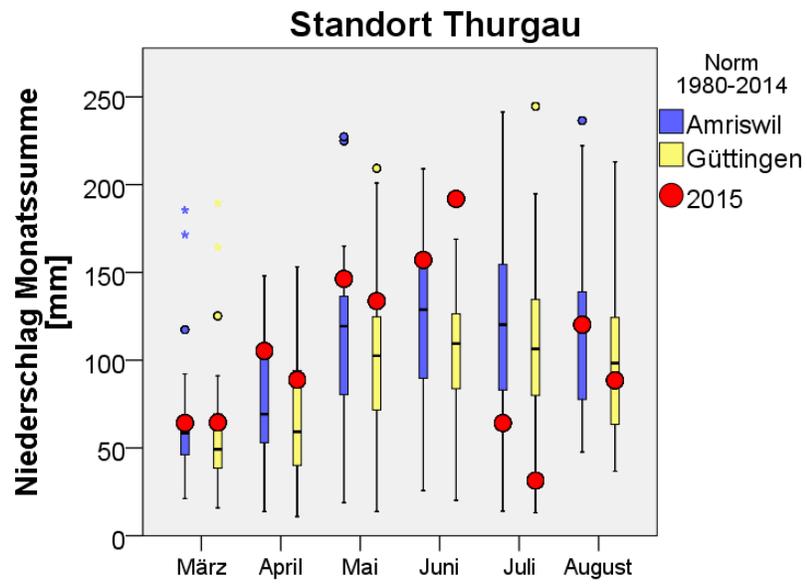


ABBILDUNG A 3: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT THURGAU

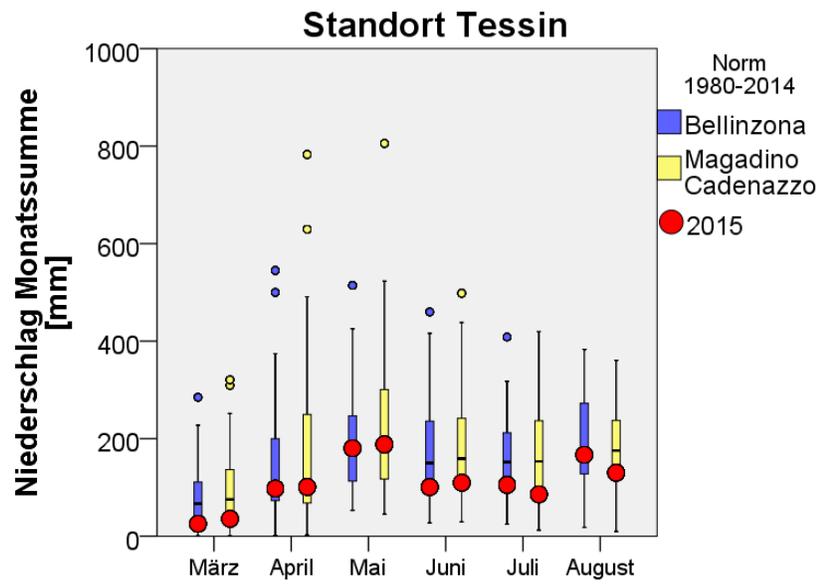


ABBILDUNG A 4: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT TESSIN

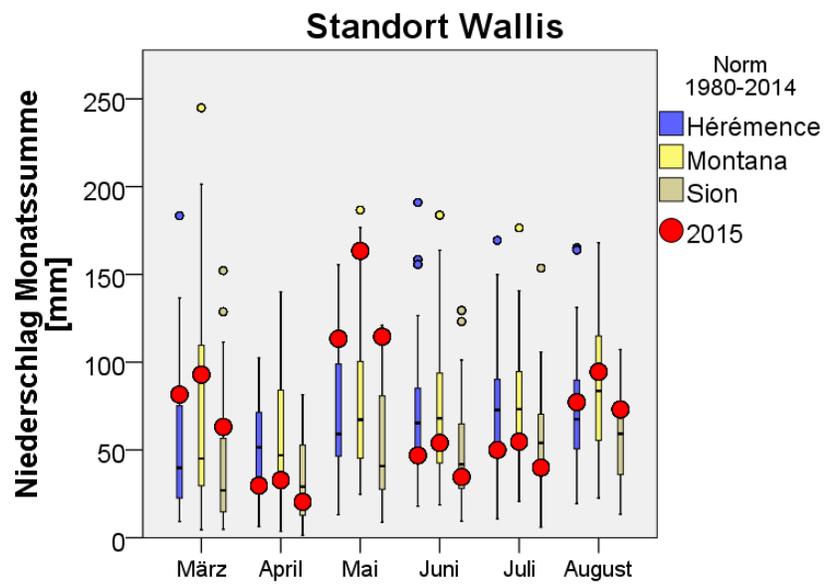
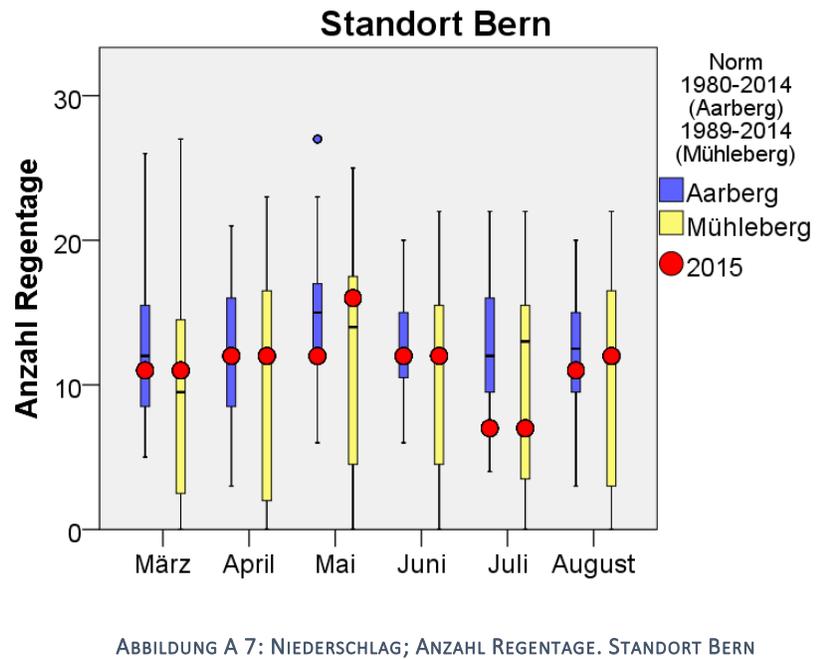
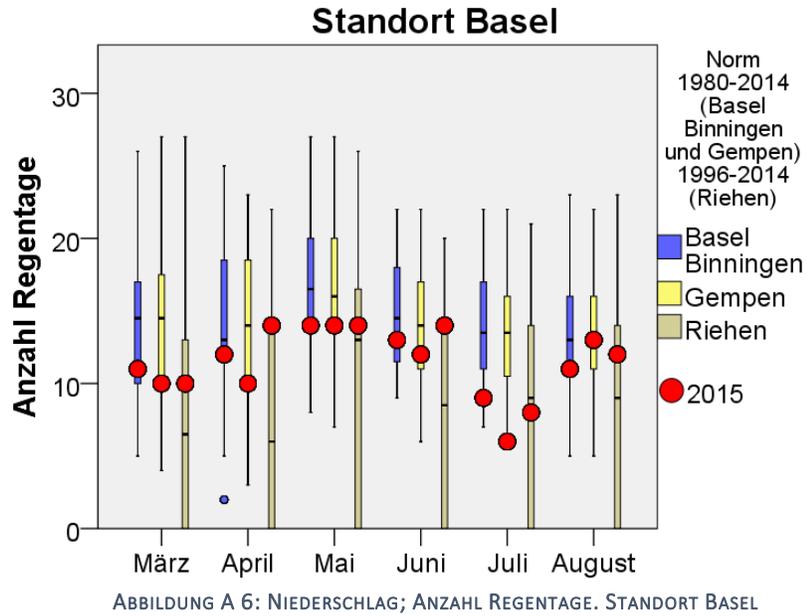


ABBILDUNG A 5: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT WALLIS

5.2.1.2 Regentage



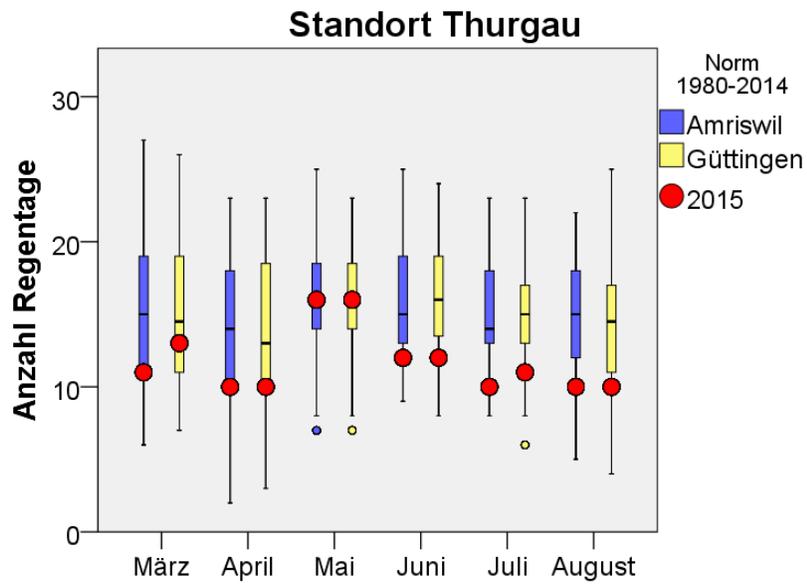


ABBILDUNG A 8: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT THURGAU

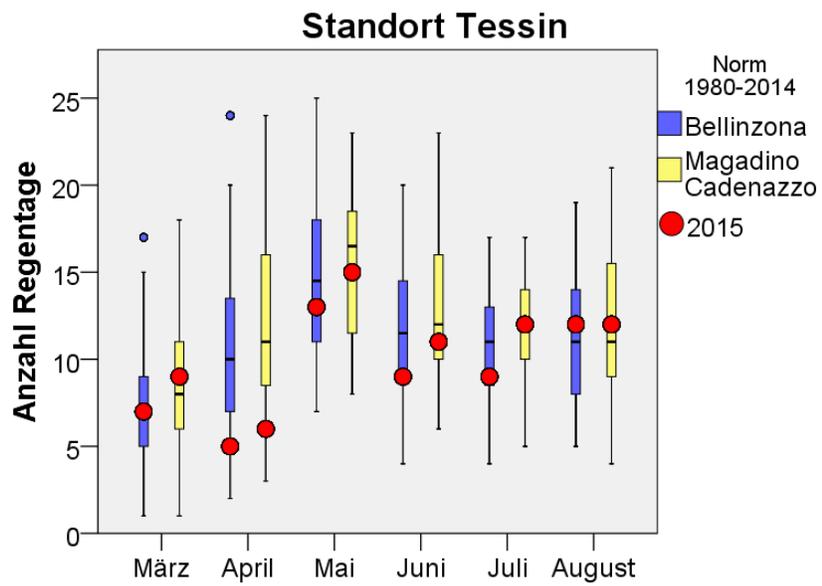


ABBILDUNG A 9: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT TESSIN

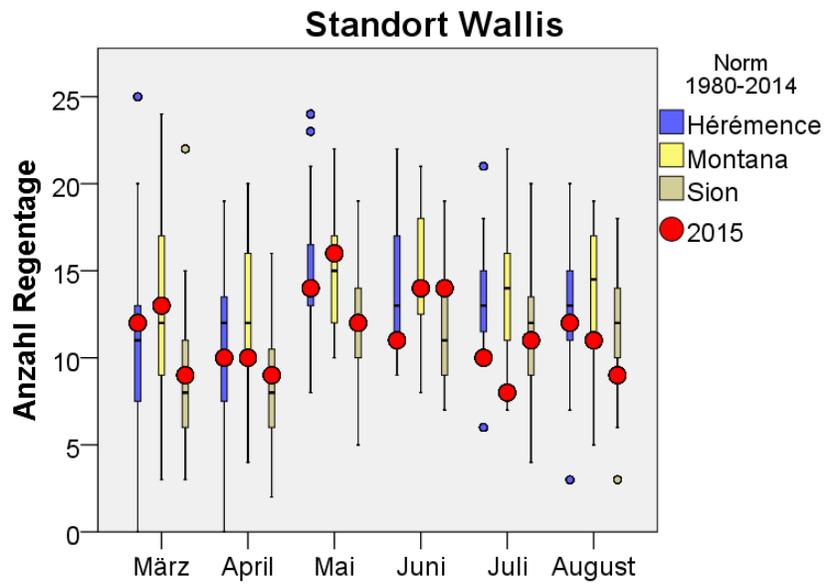


ABBILDUNG A 10: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT WALLIS

5.2.2 BEURTEILUNG DER METEOROLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN BEDINGUNGEN

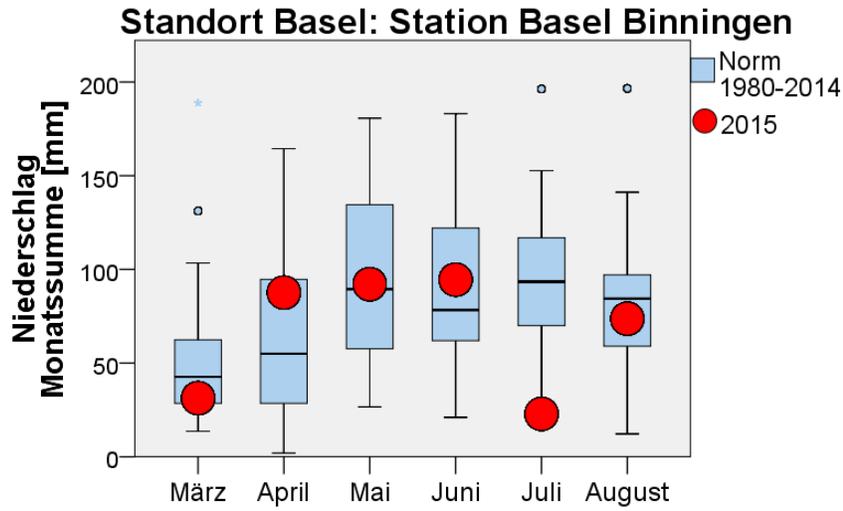


ABBILDUNG A 11: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BASEL, STATION BASEL BINNINGEN

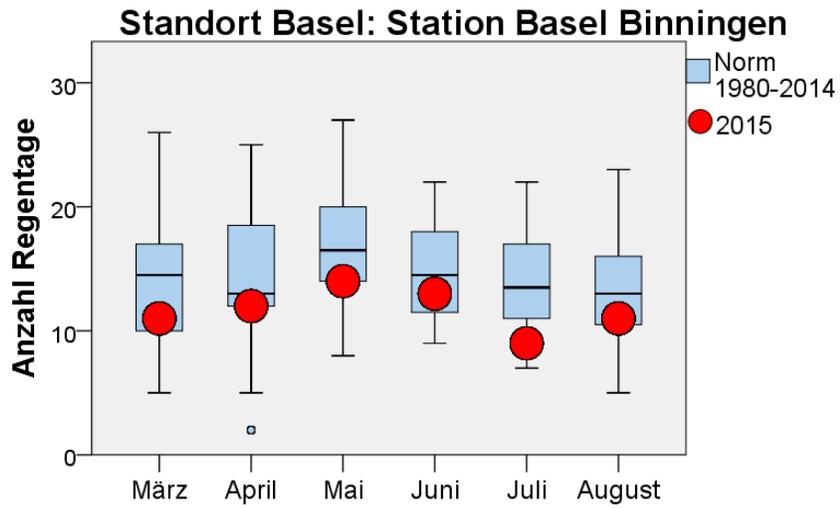


ABBILDUNG A 12: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BASEL, STATION BASEL BINNINGEN

Standort Basel: Dorfbach Allschwil

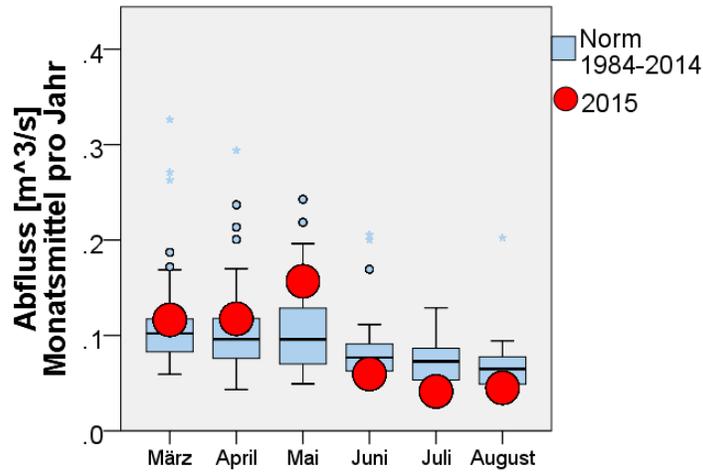


ABBILDUNG A 13: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT BASEL, DORFBACH ALLSCHWIL

Standort Bern: Station Aarberg

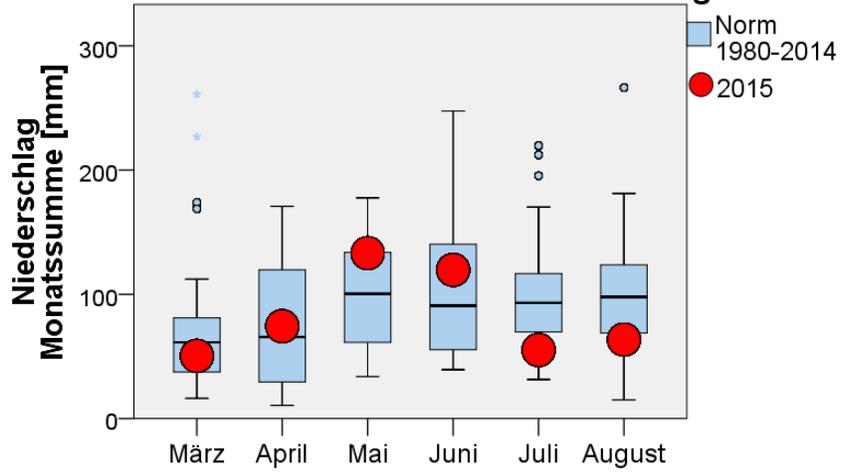


ABBILDUNG A 14: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT BERN, STATION AARBERG

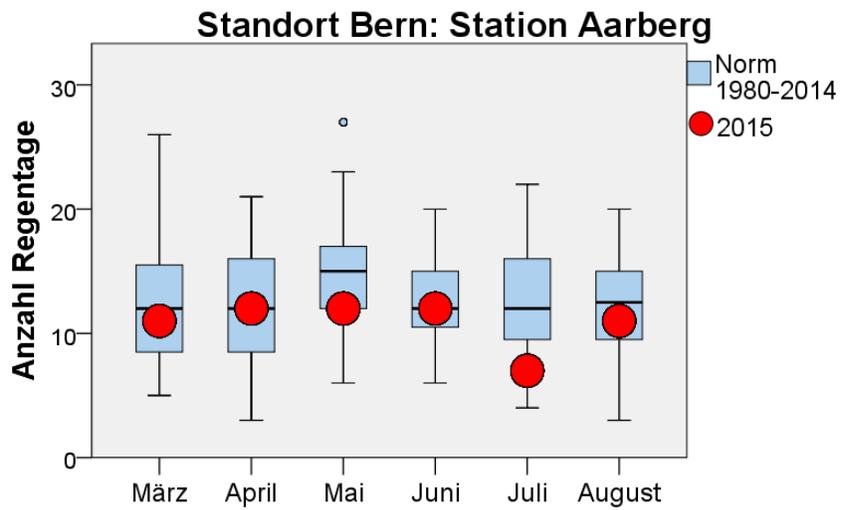


ABBILDUNG A 15: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT BERN, STATION AARBERG

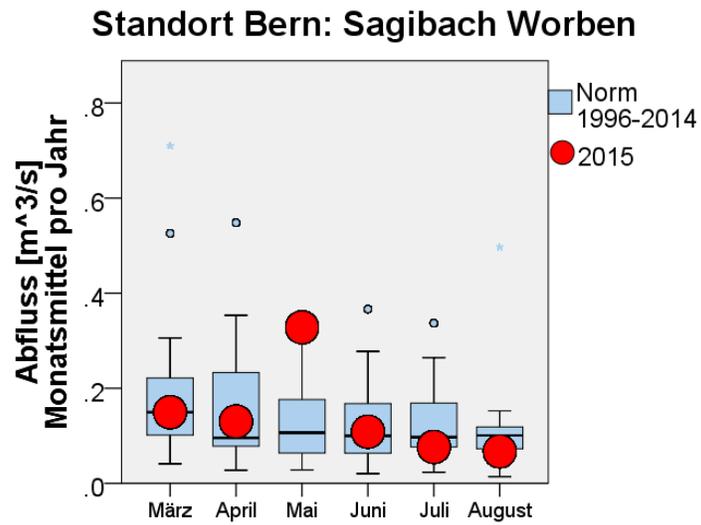


ABBILDUNG A 16: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT BERN, SAGIBACH WORBEN

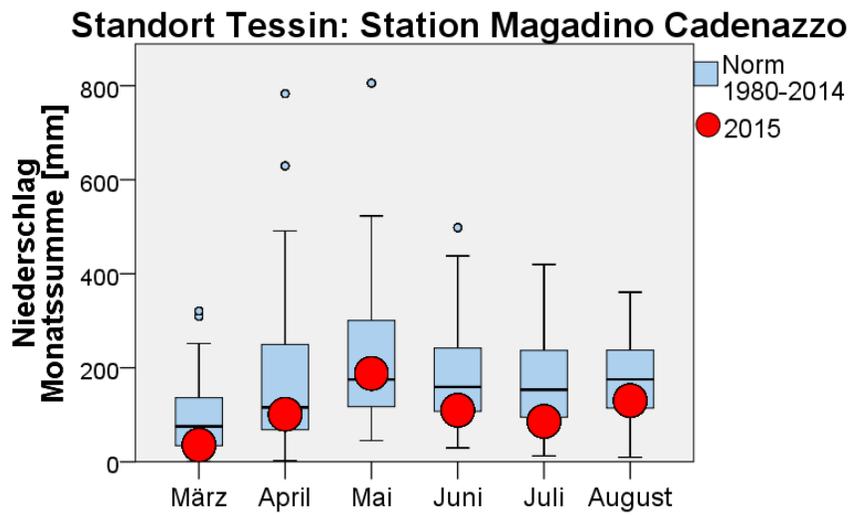


ABBILDUNG A 17: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT TESSIN, STATION MAGADINO CADENAZZO

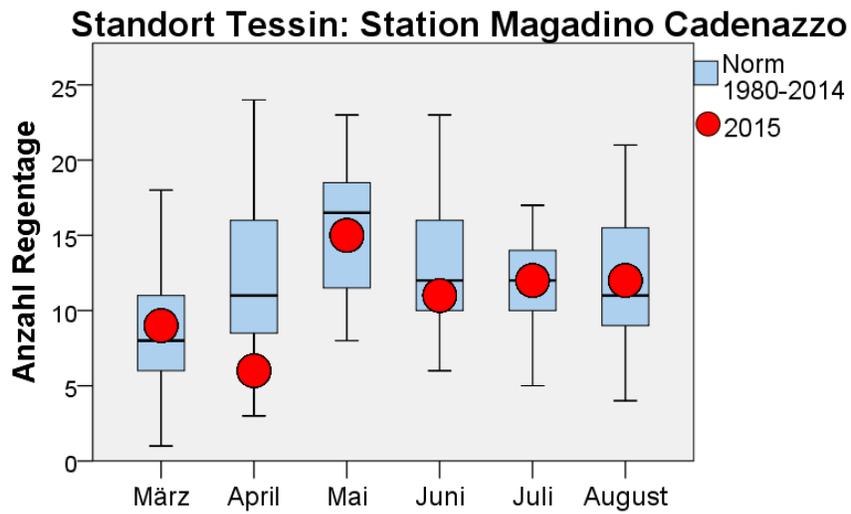


ABBILDUNG A 18: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT TESSIN, STATION MAGADINO CADENAZZO

Standort Tessin: Canale di Bonifica

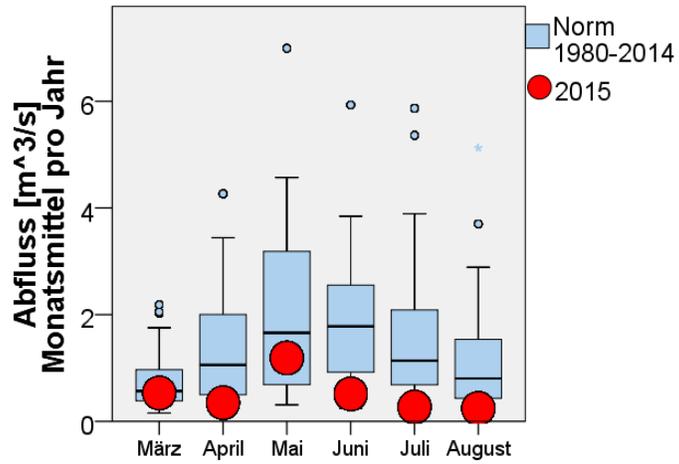


ABBILDUNG A 19: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT TESSIN, CANALE DI BONIFICA

Standort Thurgau: Station Güttingen

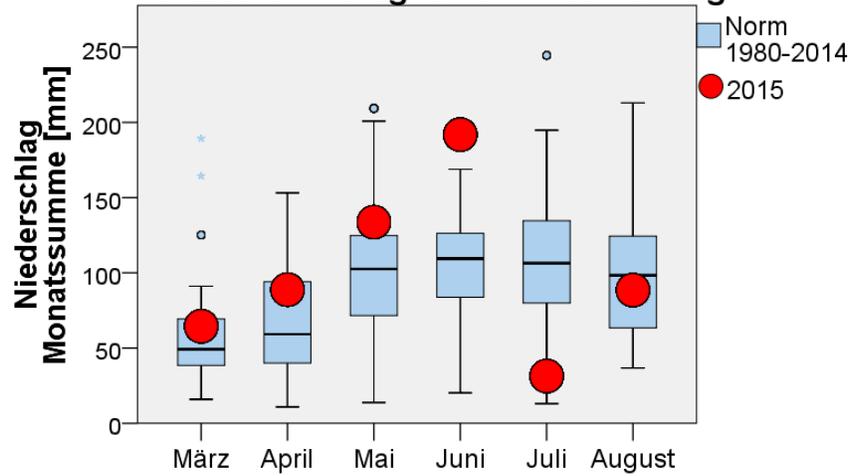


ABBILDUNG A 20: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT THURGAU, STATION GÜTTINGEN

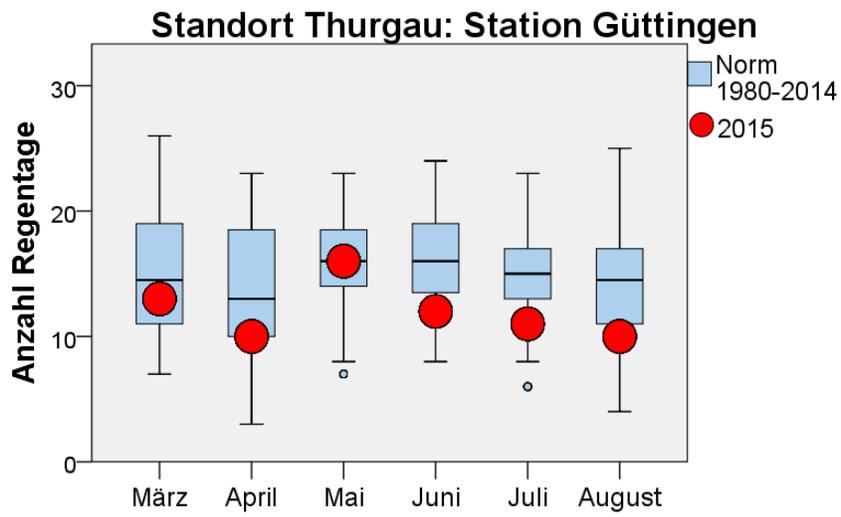


ABBILDUNG A 21: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT THURGAU, STATION GÜTTINGEN

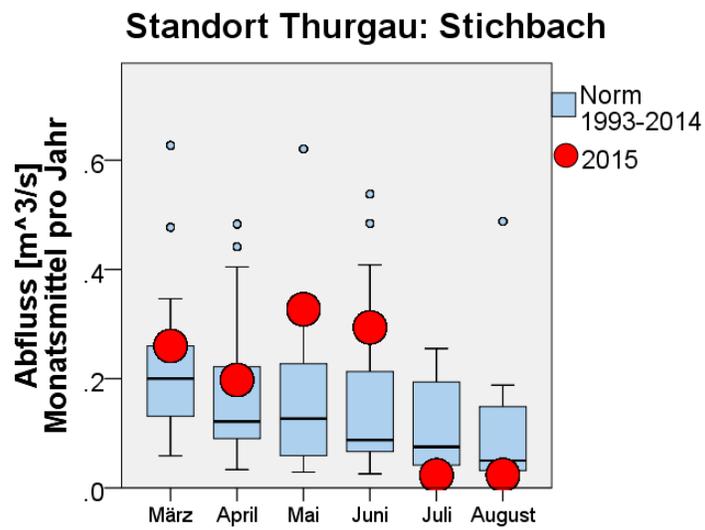


ABBILDUNG A 22: ABFLUSS; MONATSMITTELWERT. STANDORT THURGAU, STICHBACH BOTTIGHOFEN

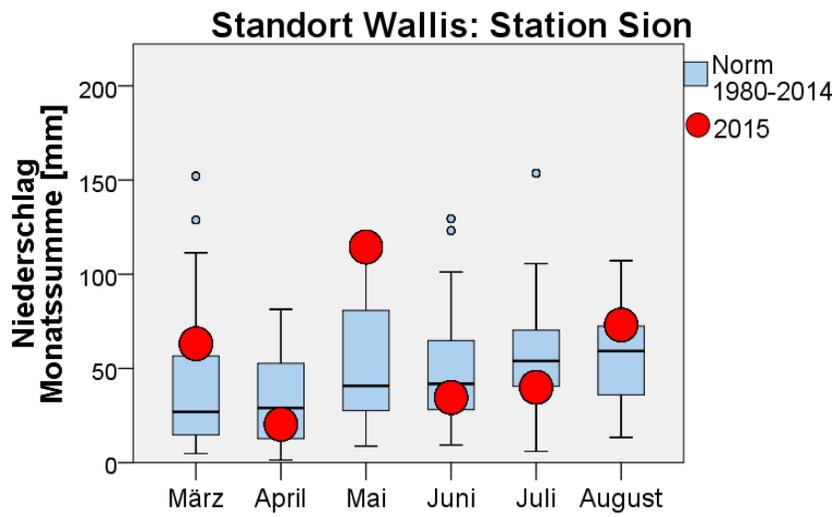


ABBILDUNG A 23: NIEDERSCHLAG; MONATSSUMME. STANDORT WALLIS, STATION SION

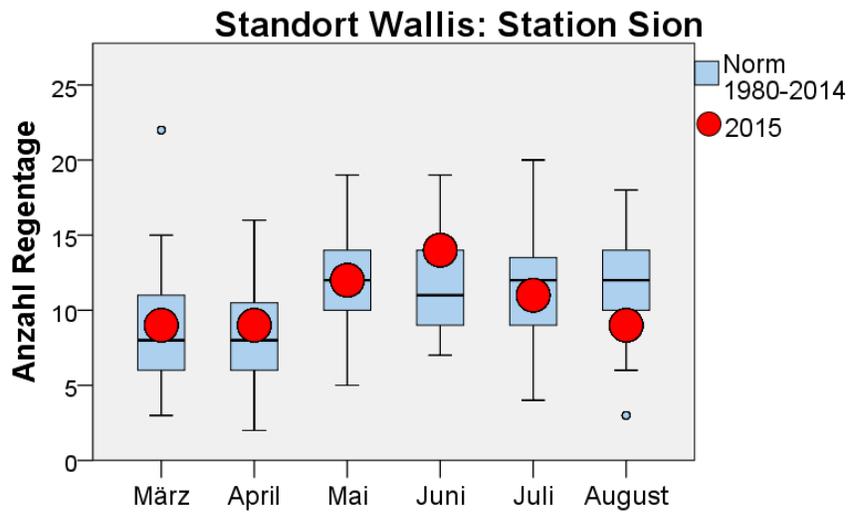


ABBILDUNG A 24: NIEDERSCHLAG; ANZAHL REGENTAGE. STANDORT WALLIS, STATION SION

5.2.3 KATEGORISIERUNG UND QUANTIFIZIERUNG DER MISCHPROBEN BEZÜGLICH DEN METEOROLOGISCHEN UND HYDROLOGISCHEN BEDINGUNGEN

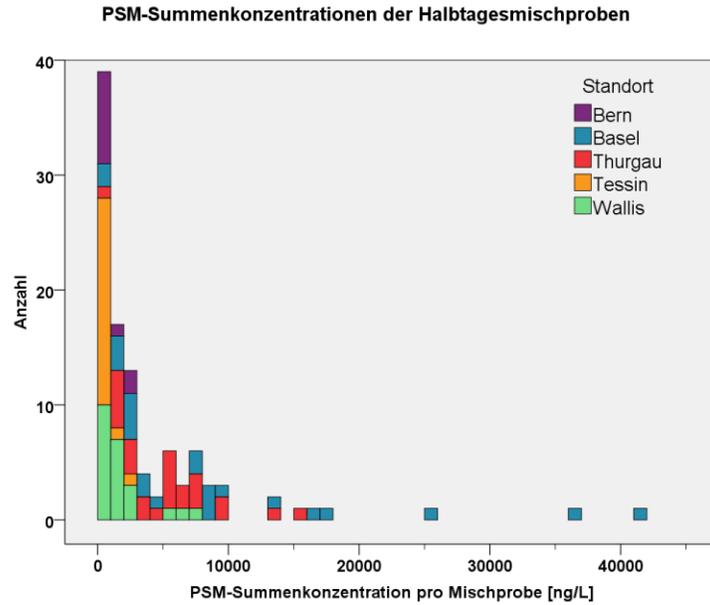


ABBILDUNG A 25: VERTEILUNG DER PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN DER HALBTAGESMISCHPROBEN

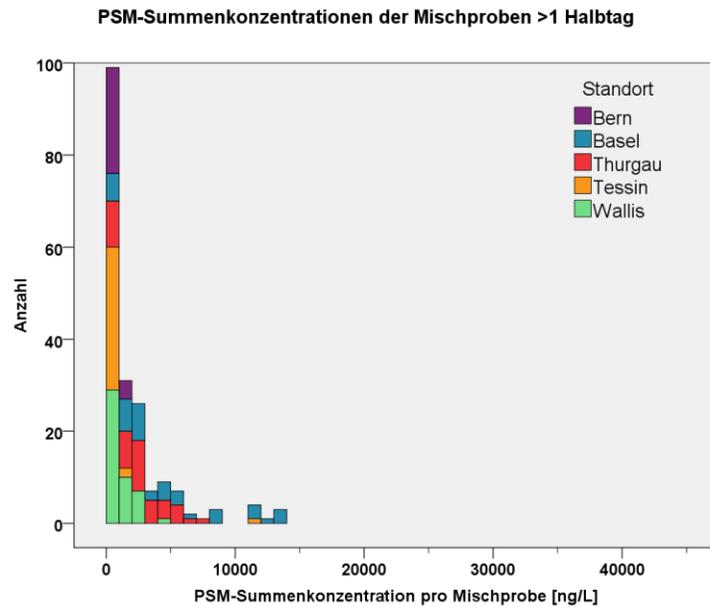


ABBILDUNG A 26: VERTEILUNG DER PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN DER LÄNGER ANDAUERNDEN MISCHPROBEN (>1 HALBTAG)

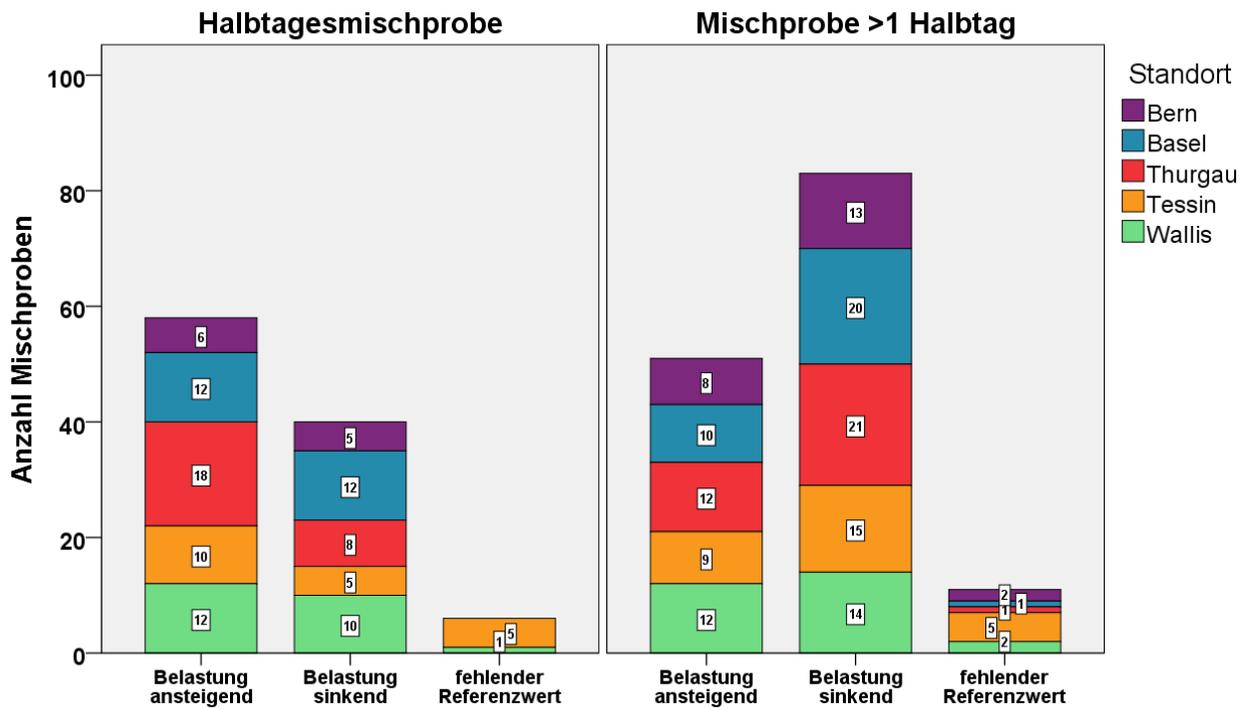


ABBILDUNG A 27: AUFSUMMIERTE ANZAHL MISCHPROBEN ÜBER ALLE STANDORTE, KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATIONEN

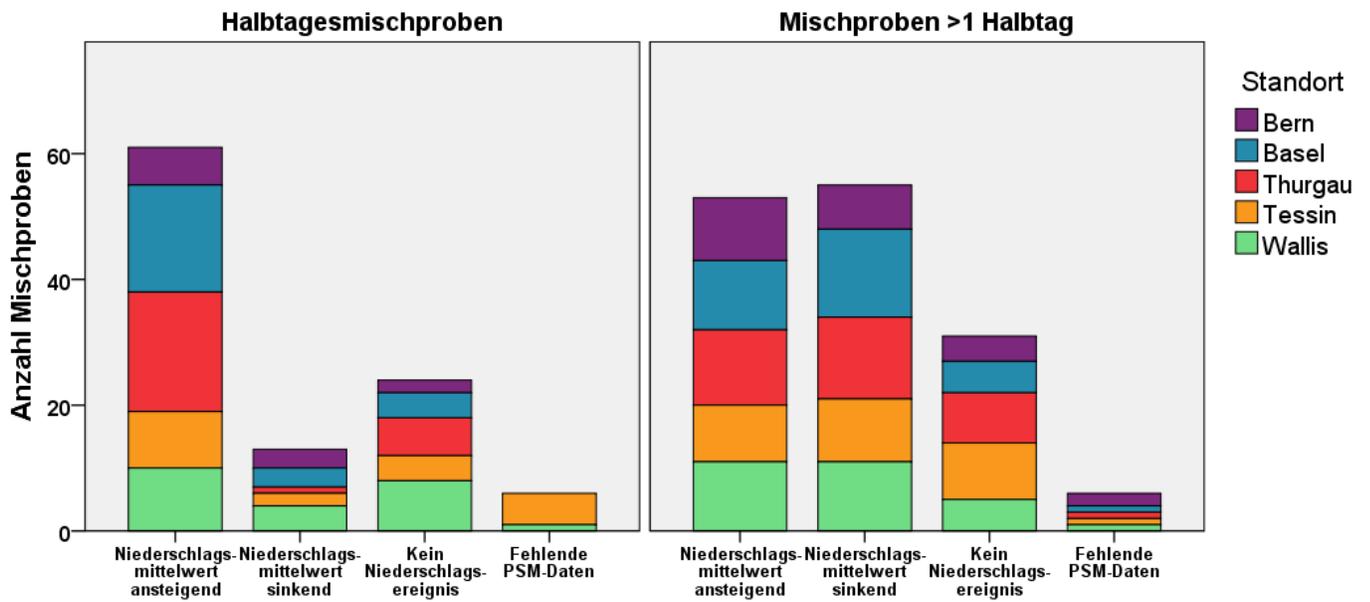


ABBILDUNG A 28: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-NIEDERSCHLAGSMITTELWERTE ODER KEIN NIEDERSCHLAGSEREIGNIS

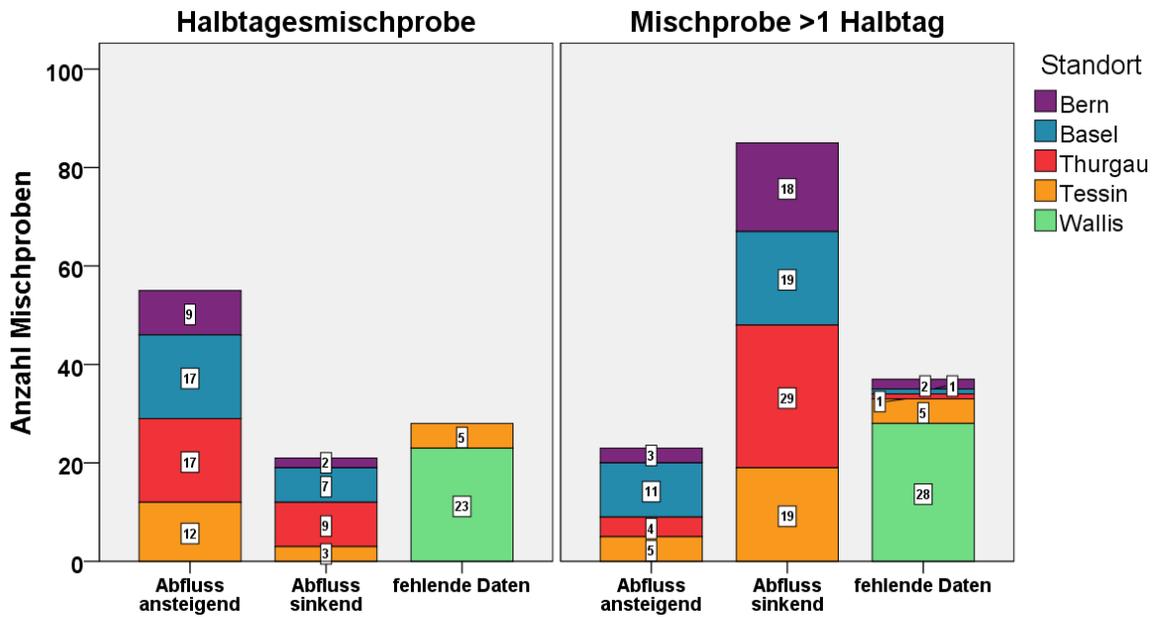


ABBILDUNG A 29: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-ABFLUSSMITTELWERTE

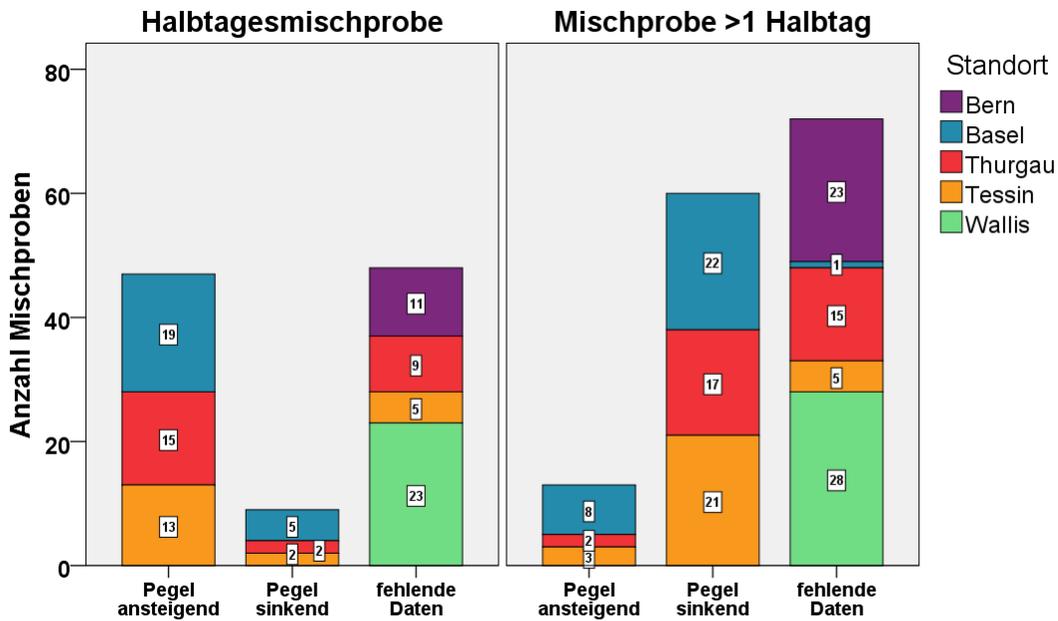


ABBILDUNG A 30: KATEGORISIERUNG MITTELS DELTA-PEGELWERTE

- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis, Abflussmittelwert sinkend
- fehlende PSM-Daten

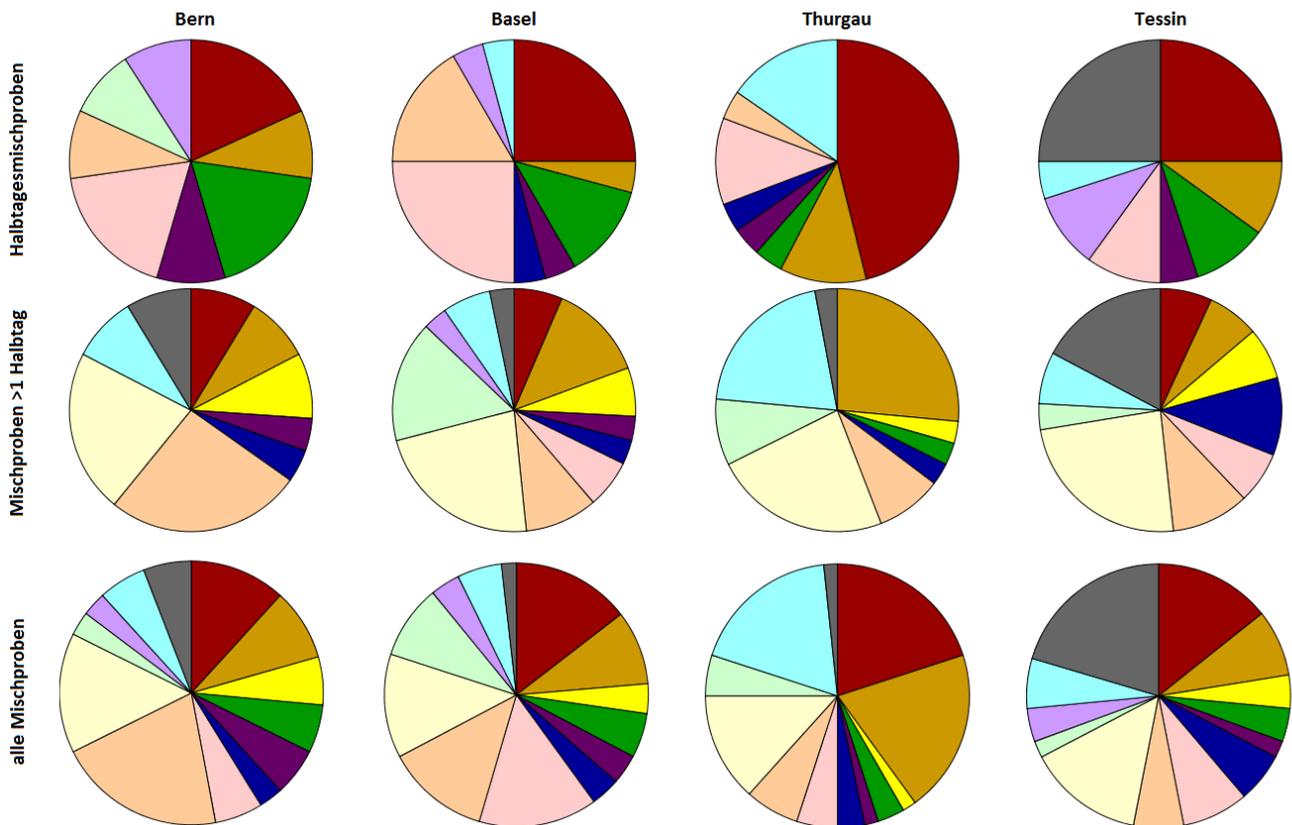


ABBILDUNG A 31: ANTEILE DER KOMBINIERTEN KATEGORIEN MIT UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN. UNTERTEILT NACH STANDORT, MISCHPROBENTYP. ALLE MISCHPROBEN ALLER STANDORTE AUSSER STANDORT WALLIS (N TOTAL = 198).

- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert ansteigend
- Belastung ansteigend, Niederschlagsmittelwert sinkend
- Belastung ansteigend, Kein Niederschlagsereignis
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert ansteigend
- Belastung sinkend, Niederschlagsmittelwert sinkend
- Belastung sinkend, Kein Niederschlagsereignis
- fehlende PSM-Daten

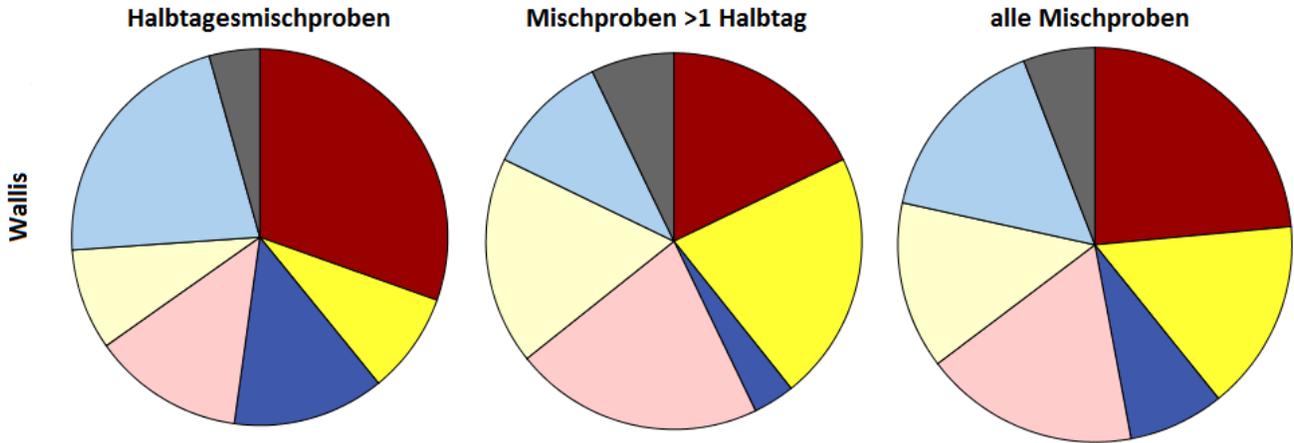


ABBILDUNG A 32: KATEGORISIERUNG AM STANDORT WALLIS. MIT UNTERBRECHENDEN HALBTAGESMISCHPROBEN

5.2.4 KORRELATIONSANALYSEN

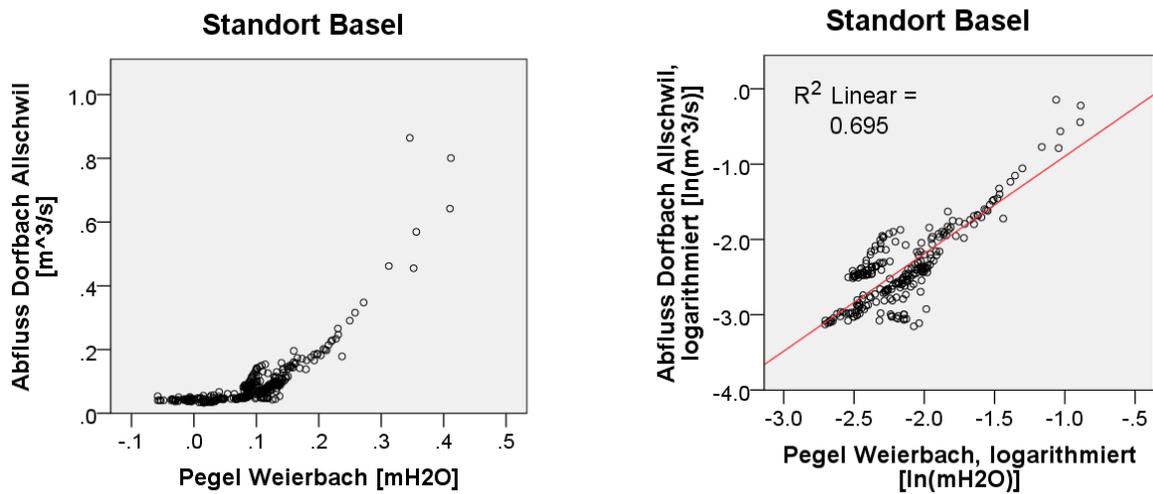


ABBILDUNG A 33: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM PEGEL AM WEIERBACH MIT ABFLUSS DORFBACH ALLSCHWIL, JEWEILS MIT DEN ABSOLUTEN MESSWERTEN (GANZE BEPROBUNGSZEITSPANNE) UND DEN LOGARITHMIERTEN MESSWERTEN (MÄRZ BIS JUNI 2015, JULI UND AUGUST 2015 AUFGRUND NEGATIVEN PEGELWERTEN AUSGESCHLOSSEN). DATEN WURDEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND GGF. LOGARITHMIERT.

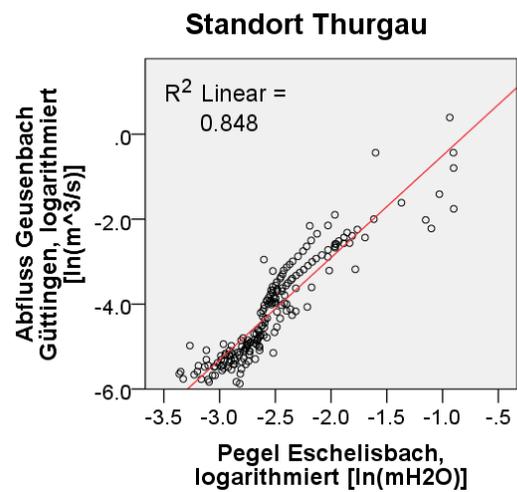
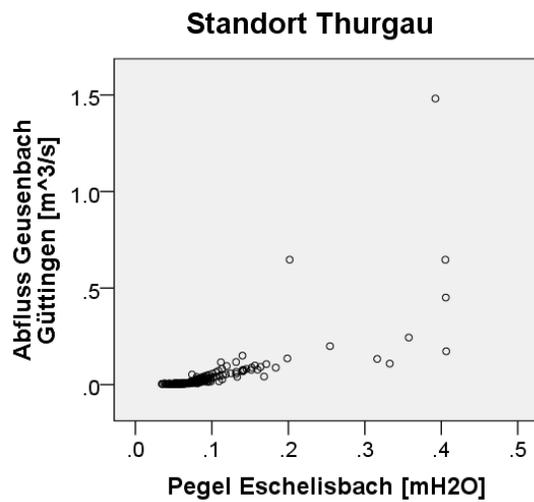
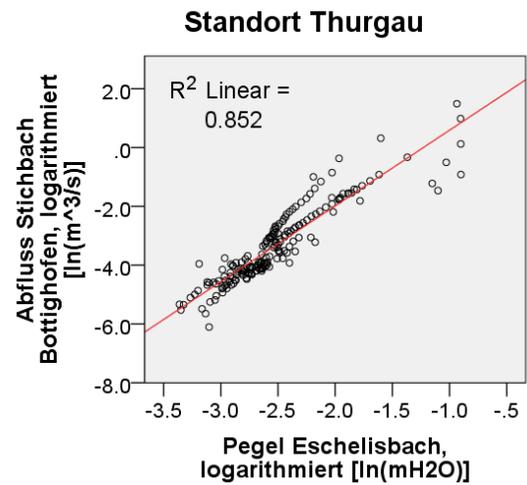
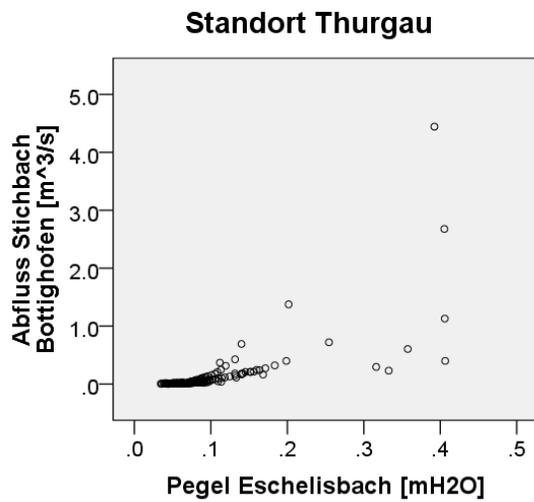


ABBILDUNG A 34: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM PEGEL AM ESCHELISBACH MIT DEN ABFLÜSSEN DES STICHBACHS BOTTIGHOFEN (IM TEIL 1 VERWENDET) UND DES GEUSENBACHS GÜTTINGEN (IM TEIL 2 VERWENDET). PEGELDATEN SIND ERST AB 27.05.2015 VERFÜGBAR (N=194). DATEN WURDEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND GGF. LOGARITHMIERT

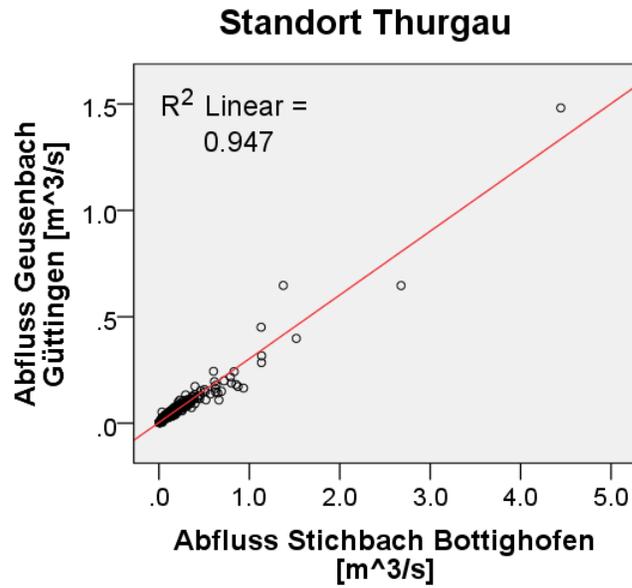


ABBILDUNG A 35: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DEM ABFLUSS AM STICHBACH BOTTIGHOFEN MIT DEM ABFLUSS AM GEUSENBACH GÜTTINGEN WÄHREND DER GANZEN BEPROBUNGSZEITSPANNE. DATEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT.

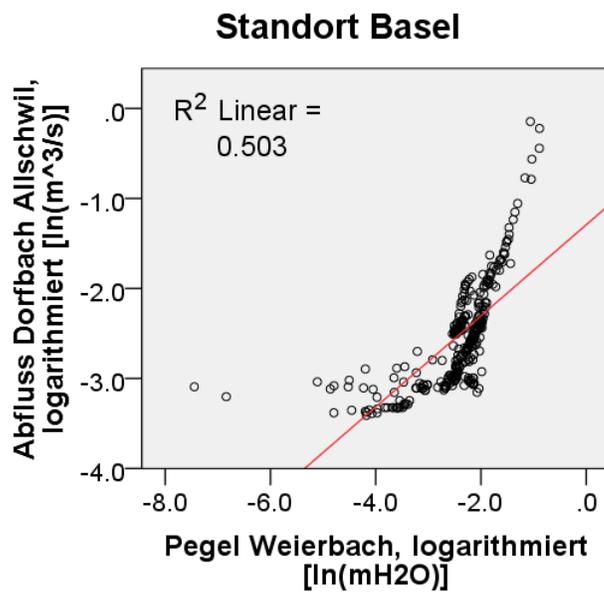


ABBILDUNG A 36: KORRELATION ZWISCHEN DEM PEGEL AM WEIERBACH MIT DEM ABFLUSS DES DORFBACHS ALLSCHWIL WÄHREND DER GANZEN BEPROBUNGSZEITSPANNE. DATEN ZU HALBTAGESWERTEN GEMITTELT UND LOGARITHMIERT

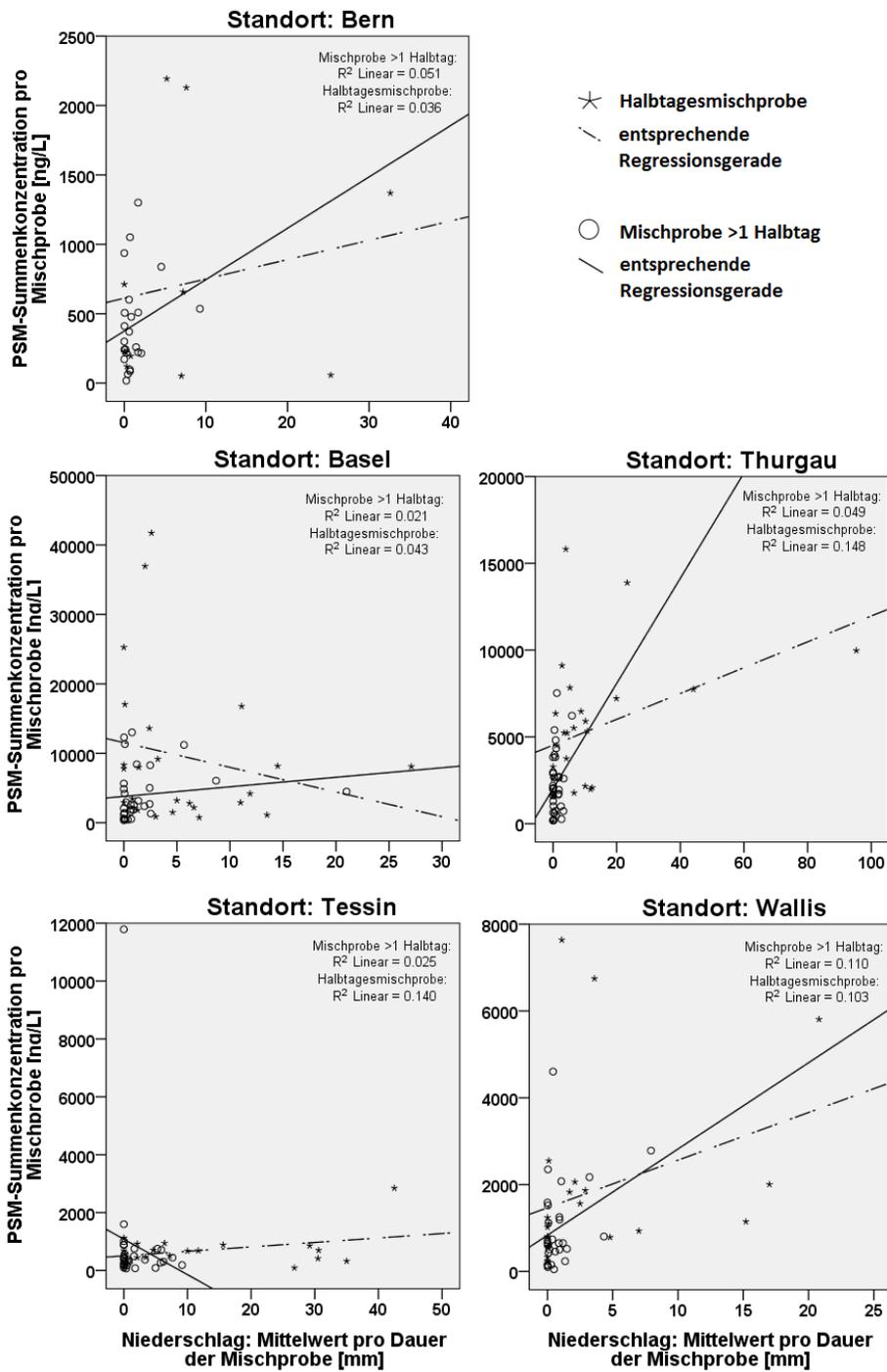


ABBILDUNG A 37: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND NIEDERSCHLAGSMITTELWERTEN, SEPARIERT NACH MISCHPROBENTYP

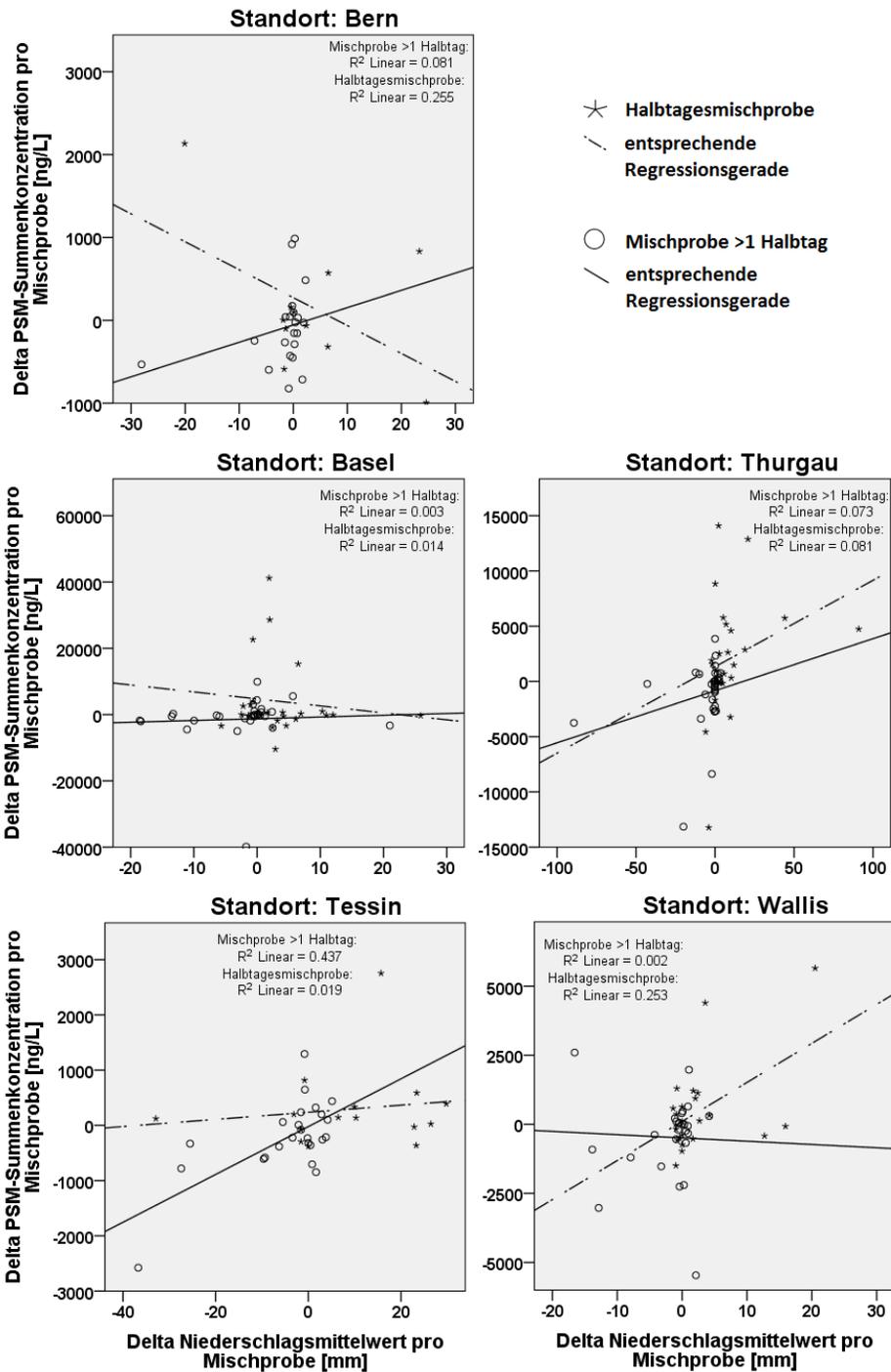


ABBILDUNG A 38: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-NIEDERSCHLAGSMITTELWERT

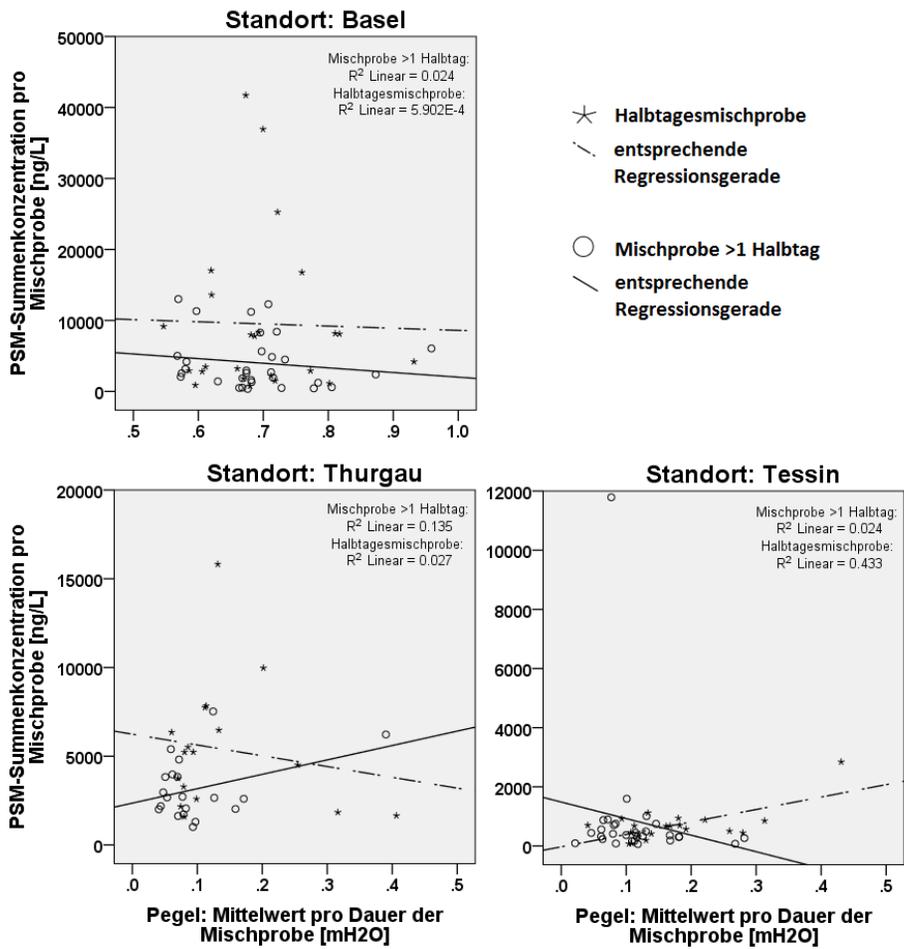


ABBILDUNG A 39: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND PEGELSTÄNDEN

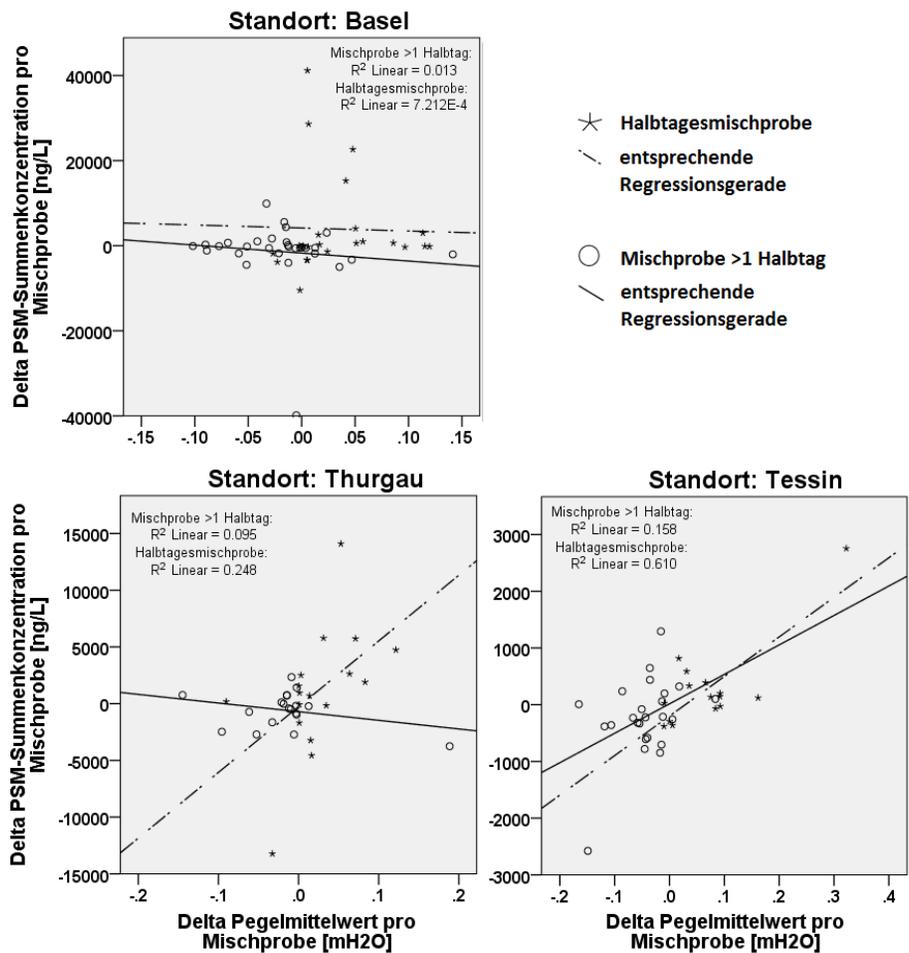


ABBILDUNG A 40: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-PEGELMITTELWERT

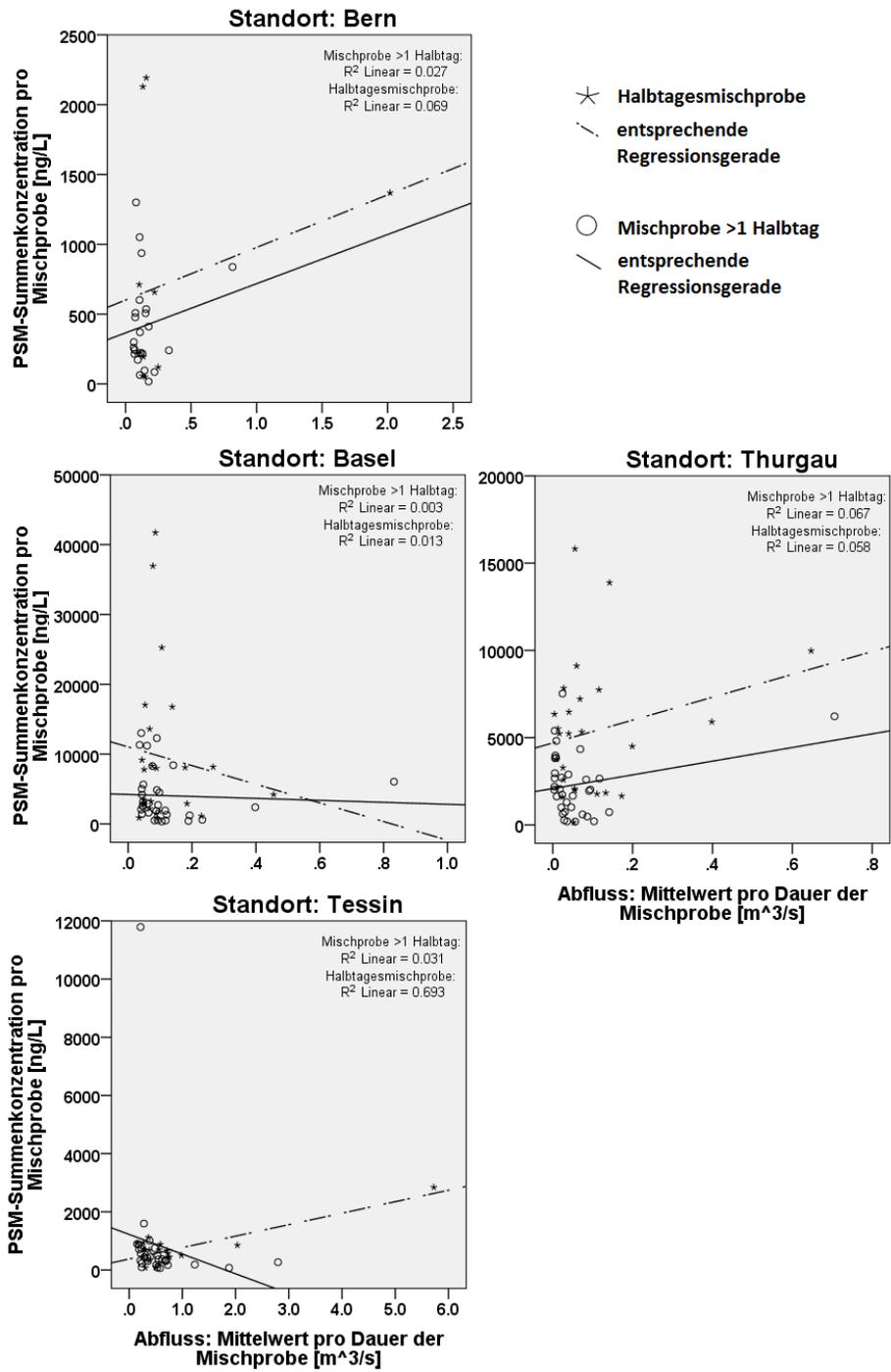


ABBILDUNG A 41: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN PSM-SUMMENKONZENTRATION UND ABFLUSSMITTELWERT

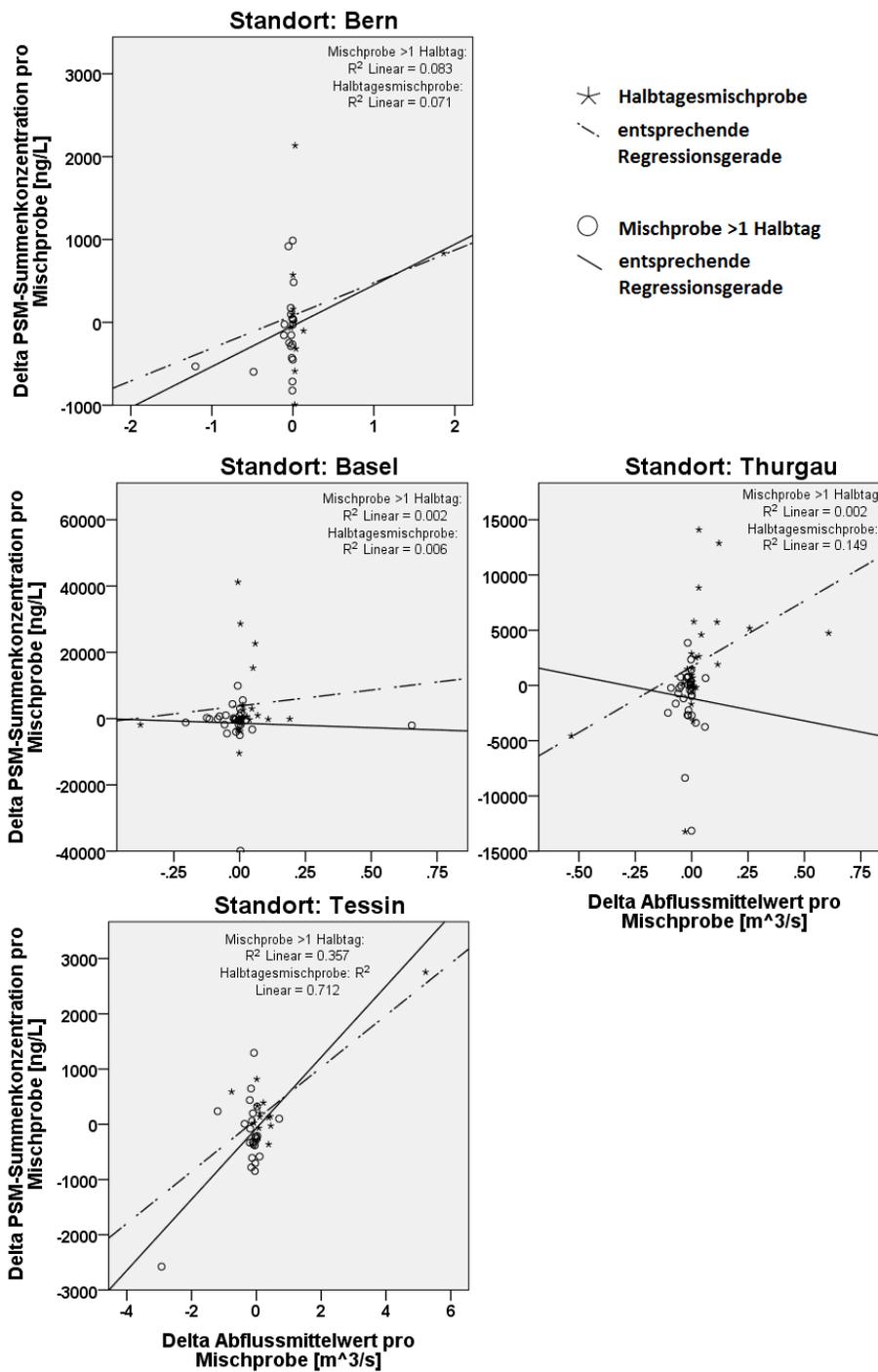


ABBILDUNG A 42: KORRELATIONSANALYSE ZWISCHEN DELTA-PSM-SUMMENKONZENTRATION UND DELTA-ABFLUSSMITTELWERT

EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG

Persönliche Erklärung: Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und die den verwendeten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Datum:

Unterschrift:
