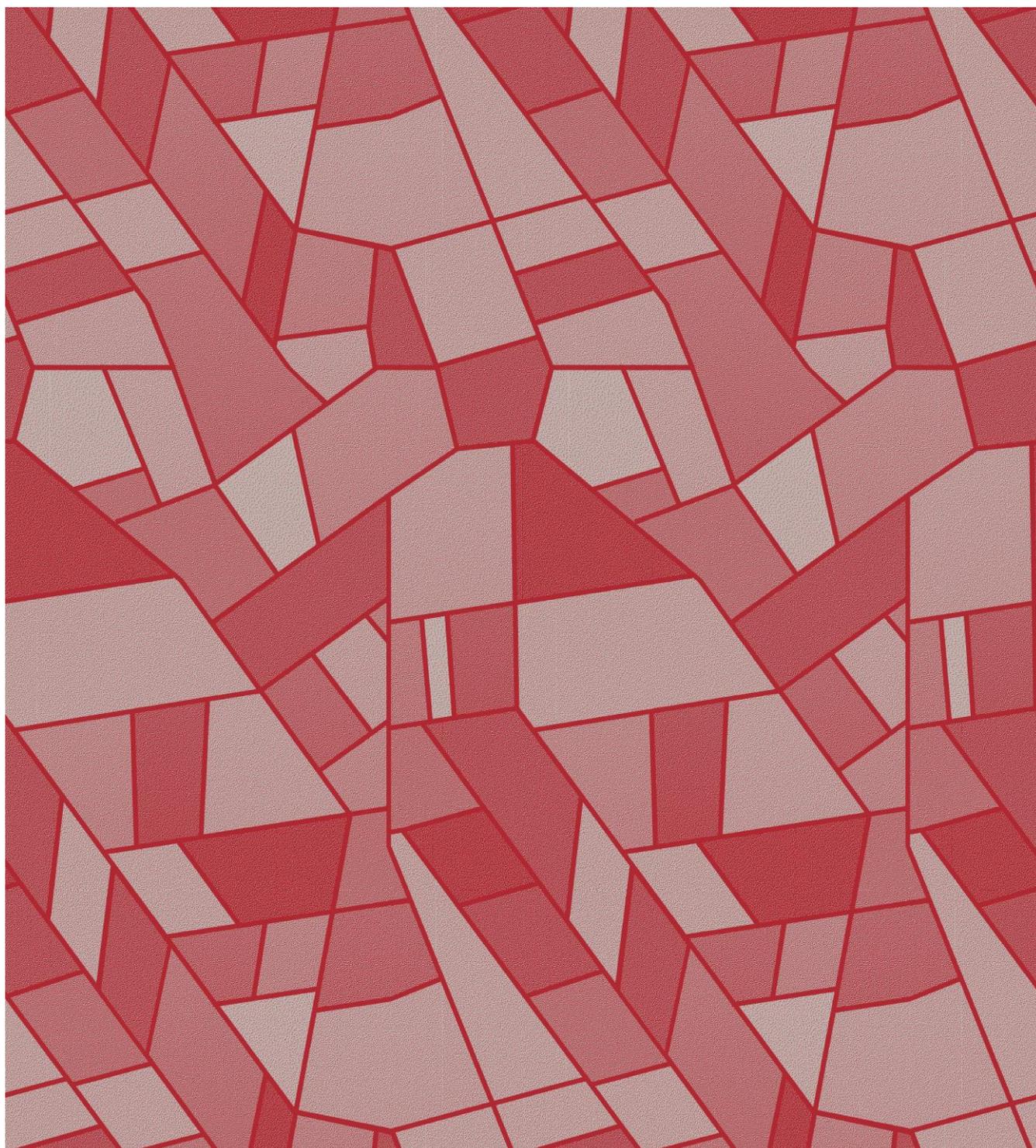


Typisierung der PSM-Eintragsereignisse anhand von Monitoringdaten

Schlussbericht



Projektteam

Christina Dübendorfer
Veronica Bozzini
Remo Röthlin
Eliane Hirt
Isabel O'Connor

EBP Schweiz AG
Mühlebachstrasse 11
8032 Zürich
Schweiz
Telefon +41 44 395 16 16
info@ebp.ch
www.ebp.ch 13. Juni 2023

13. Juni 2023
PSM-Eintragstypen_20230613.docx

Inhaltsverzeichnis

1.	Ausgangslage und Zielsetzung	4
2.	Grundlagen und Vorgehen	5
2.1	Methode	5
2.2	Datengrundlagen	7
2.3	Einzugsgebiete	9
3.	Auswertung Eintragstypen	11
3.1	Hydrologie	11
3.2	Zuordnung der Probenahmezeiträume zu Eintragstypen	12
3.3	Häufigkeit der Eintragstypen	12
4.	Auswertungen Wirkstoffeinträge	13
4.1	Berechnung Wirkstofffrachten und Zuordnung Eintragstypen	13
4.2	Wirkstofffrachten pro Eintragstyp	14
5.	Fazit und Ausblick	21

1. Ausgangslage und Zielsetzung

Der Aktionsplan zur Risikoreduktion und nachhaltigen Anwendung von Pflanzenschutzmittel (AP PSM) umfasst verschiedene Massnahmen zur Reduktion der Pflanzenschutzmittel-Einträge in Oberflächengewässer. Mit der Parlamentarischen Initiative 19.475 wurden unter anderem ein konkretes Ziel für die zu erreichende Risikoreduktion sowie ein Risikoindikator gesetzlich verankert. Um die Reduktionsziele zu erreichen ist es wichtig zu verstehen, welche Rolle die verschiedenen Eintragswege von Pflanzenschutzmittel (PSM) in Gewässer für die Gewässerbelastung spielen. Im Rahmen des Messprogramms Nationale Beobachtung der Oberflächengewässerqualität (NAWA) untersuchen die Kantone und der Bund unter anderem verschiedene Gewässer mittels 3.5-Tagesmischproben. Die Proben werden auf Dutzende PSM-Wirkstoffe untersucht. Abfluss- oder Pegeldata werden ebenfalls gemessen.

In einer Masterarbeit an der EAWAG wurde zudem ein Ansatz entwickelt, um anhand der Niederschlags- und Abflussbedingungen während der Probenahmedauer verschiedene Typen von Eintragsereignissen zu unterscheiden. Diese Eintragstypen geben Hinweise auf die Relevanz der Eintragspfade von PSM-Wirkstoffen und dienen damit einem besseren Verständnis, wie die PSM-Einträge zu Stande kommen und wo folglich die Reduktionsmassnahmen ansetzen müssen. Dieser Ansatz wurde von der EBP Schweiz AG im Rahmen von Ressourcenprojekten in den Kantonen Basel-Landschaft und Bern angewendet und weiterentwickelt.

Das BAFU hat EBP beauftragt, diese Auswertung auf alle NAWA-Messstellen mit PSM-Messungen in genügender zeitlicher Auflösung und mit verfügbaren Abflussdaten anzuwenden. Ziel der Analyse war eine Kategorisierung der PSM-Eintragsereignisse für die NAWA-Monitoringdaten der Jahre 2019-2020 und die Analyse der Ergebnisse hinsichtlich erkennbarer Muster oder möglichen Faktoren, welche zu den erhöhten Konzentrationen führen. Die Resultate sollen unter anderem Hinweise liefern, welcher Anteil der PSM-Belastung über welchen Eintragsweg in die Gewässer gelangt und ob dies mit dem modellierten Risikoindikator des BLW übereinstimmt.¹

In der vorliegenden Analyse wurden auch grössere Einzugsgebiete von Fliessgewässern betrachtet. Damit soll getestet werden, ob die für kleine, landwirtschaftlich geprägte Einzugsgebiete konzipierte Methode auch für grössere, durch weitere anthropogene Einflüsse geprägte Einzugsgebiete zu aussagekräftigen Ergebnissen führt.

¹ Risikoindikatoren Pflanzenschutzmittel (admin.ch)

2. Grundlagen und Vorgehen

2.1 Methode

Die im vorliegenden Bericht verwendete Methode wurde im Rahmen einer Masterarbeit² an der Eawag entwickelt und zielt darauf ab, aus hydrologischen und meteorologischen Daten sogenannte Eintragstypen von PSM-Einträgen in Gewässer zu erkennen. Dafür werden Gewässer-Mischproben für den Zeitraum ihrer Probenahme einem bestimmten Eintragstyp zugeordnet, der einen Hinweis darauf geben, über welchen Eintragungsweg PSM in die Gewässer gelangen. Es werden vier verschiedene Eintragstypen unterschieden (Tabelle 1). Auf dieser Basis können anschliessend die in den Mischproben gemessenen Stoffkonzentrationen hinsichtlich des Eintragstyps ausgewertet werden.

Eintragstyp 1 Abfluss vom Feld während Niederschlag	Eintragstyp 2 Abfluss vom Feld nach Niederschlag	Eintragstyp 3 Abfluss von befestigten Flächen	Eintragstyp 4 Eintrag während Trockenperiode
Niederschlagsereignis mit längerdauerndem Anstieg des Abflusses (>12 h oberhalb der Tagesschwankung ³)	Länger als 12 h anhaltender erhöhter Abfluss im Nachgang eines Niederschlagsereignisses	Niederschlagsereignis mit vorübergehendem Anstieg des Abflusses (nach 12 h wieder innerhalb Tagesschwankung) ⁴	Kein Niederschlagsereignis oder geringer Niederschlag ohne Anstieg des Abflusses über die Tagesschwankungen

Charakteristisches Beispiel

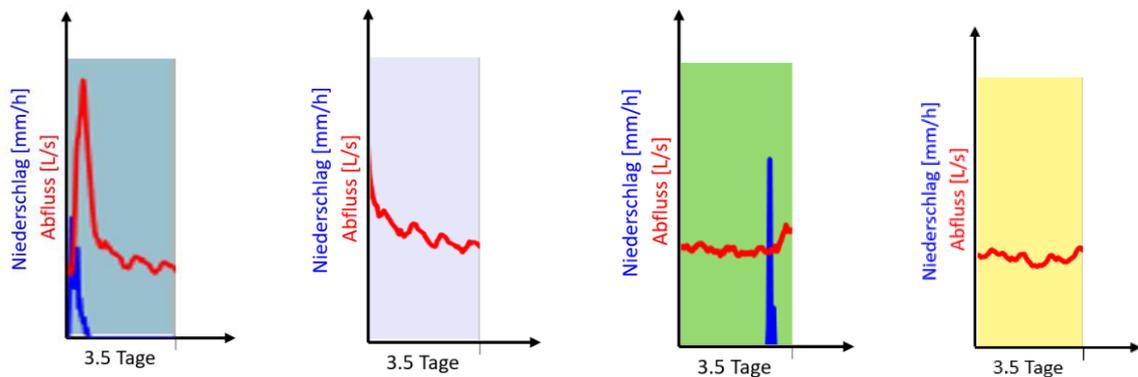


Tabelle 1: Verwendete Kategorien für die Einteilung der Probenahmezeiträume zu Eintragstypen

Da eine Mischprobe nur jeweils einem Ereignistyp zugeordnet werden kann, wurde eine hierarchische Zuordnung vorgenommen, wobei die Eintragstypen wie folgt gewichtet wurden: Type 1 > Typ 2 > Typ 3 > Typ 4. Wenn beispielsweise während dem betrachteten Zeitraum ein intensives Regenereignis mit längerdauerndem erhöhtem Abfluss stattfand, dann trifft Typ 1 zu,

² Riedi J. 2019: Identifikation der dominanten Eintragungspfade von Pflanzenschutzmitteln ins Gewässer durch Kombination verschiedener Datenquellen, Masterarbeit, Universität Basel, 125 S.

³ Es wird die Tagesschwankung der zeitlich nächstgelegenen Trockenperiode betrachtet.

⁴ In der vorliegenden Analyse wurde Typ 3 auch ausgewiesen, wenn der Abflussanstieg bis zu ca. 24h dauerte aber vergleichsweise gering ausfiel.

auch wenn davor oder danach Phasen vorkommen, die eher zur Beschreibung der anderen Typen passen würden. Abbildung 1 zeigt beispielhaft die Zuordnung für das Einzugsgebiet Salsmacher Aach für das Jahr 2020.

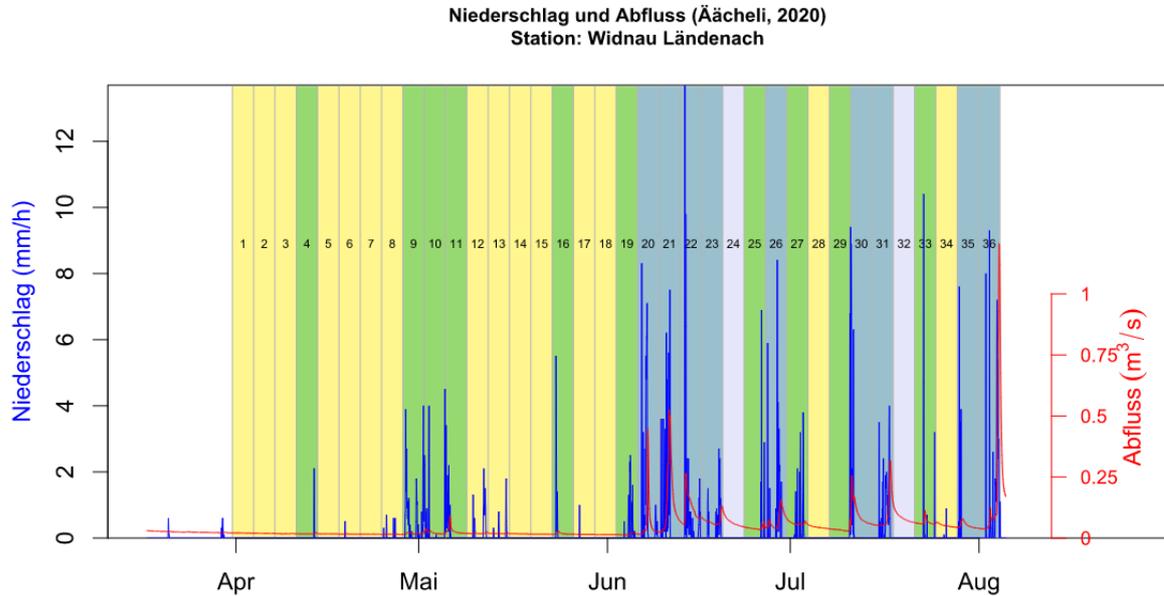


Abbildung 1: Niederschlags- und Abflussdaten für die Äächeli, Jahr 2020, mit Zuordnung der Eintragungstypen gemäss Tabelle 1.

Es ist wichtig zu bemerken, dass diese Methode für kleine Einzugsgebiete konzipiert wurde, wo neben der Landwirtschaft keine nennenswerten weiteren PSM-Quellen vorkommen und der Weg zwischen PSM-Applikation und Eintrag eher direkt ist. Die Eignung dieser Methode für grosse Einzugsgebiete, in denen eventuell auch ARA vorhanden sind, ist zu prüfen.

Diese Methode geht von vereinfachten Einleitprozessen aus. Die Einträge von PSM in Gewässer sind allerdings von vielen Faktoren abhängig, welche im Rahmen dieser Methode nicht alle erfasst wurden. Es gelten deshalb die folgenden Limitationen:

- Die Bodeneigenschaften sowie die Bodensättigung sind relevant für die Abschwemmung vom Feld: in einem Boden, der nahe an der Sättigung ist, kann Oberflächenabfluss bereits nach einer geringen Niederschlagsmenge stattfinden, während ein weit von der Sättigung entfernter Boden deutlich mehr Wasser aufnimmt, bevor es zum Abfluss kommt.
- Die Einleitungen durch ARA, Schächte und Drainagen werden im Rahmen dieser Methode nicht berücksichtigt.
- Die zeitliche Auflösung von 3.5 Tagen erlaubt nicht immer eine saubere Trennung verschiedener Eintragswege.
- Die hierarchische Einteilung der Eintragungstypen gibt den regengetriebenen Einträgen ein höheres Gewicht.

— Für alle stoffspezifischen Auswertungen ist es zudem relevant, welche Stoffe in welchen Mengen und zu welchen Zeitpunkten ausgebracht wurden. Applikationsdaten sind für die untersuchten Einzugsgebiete jedoch nicht zur Verfügung und eine Interpretation in dieser Hinsicht ist daher eingeschränkt.

Diese Grenzen der Methode sind bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

2.2 Datengrundlagen

Die vorliegende Analyse bezieht sich auf acht NAWA-Messstationen und ihre Einzugsgebiete. Zudem wurden die Ergebnisse von zwei NAWA-Messstationen im Kanton Bern einbezogen, die bereits in Rahmen des Berner Pflanzenschutzprojektes untersucht wurden (siehe auch Kap. 2.3). Die Messstandorte der Konzentrationsdaten, Abfluss- und Niederschlagsdaten sind in Abbildung 2 aufgezeigt.

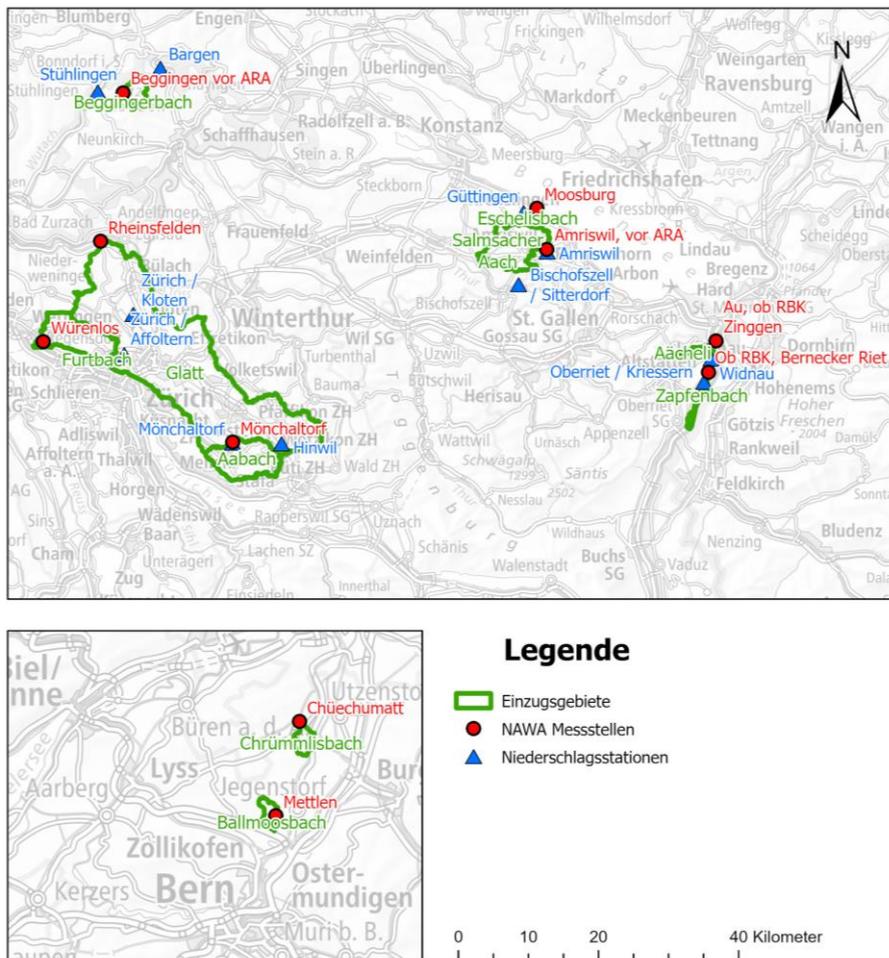


Abbildung 2: Übersichtskarten zu den NAWA-Messstationen (PSM Konzentrationen, Abfluss Daten), den Niederschlagsstationen und zu den Einzugsgebieten. Der zweite Kartenausschnitt zeigt die beiden Berner Einzugsgebiete.

Konzentrationsdaten

In Rahmen des Messprogramms Nationale Beobachtung der Oberflächen-gewässerqualität (NAWA) werden während der PSM-Hauptapplikations-phase, jeweils von April bis Juli, 3.5-Tagesmischproben erhoben. Es wird nicht an allen Standorten dasselbe Substanzset analysiert. Je nach Möglich-keiten der verschiedenen Labore werden unterschiedlich viele Substanzen gemessen. In den hier vorliegenden Auswertungen werden die Jahre 2019 und 2020 bezüglich den im Jahr 2019 als PSM zugelassenen Wirkstoffen untersucht.

	Total	Herbizide	Fungizide	Insektizide, Akarizide
Anzahl Wirkstoffe	100	41	35	24

Tabelle 2: Übersicht über die in der chemischen Analyse quantifizierten Substanzen.

Abflussdaten

Die Abflussmessungen stammen von den kantonalen Fachstellen und wei-sen unterschiedliche zeitliche Auflösungen auf (zwischen 5 und 15 Minuten). Die Messungen werden am gleichen Standort vorgenommen, an dem auch die Proben der Wirkstoffkonzentrationen genommen werden. Für die Analy-sen werden die Abflussdaten auf eine Stunde aggregiert. Beim Äächeli lie-gen im Jahr 2019 nur Abflussdaten im Zeitraum von Mitte Juni bis Mitte Au-gust vor. Bei der Salmsacher Aach liegen nur Daten des Jahres 2020 vor.

Niederschlagsdaten

Die Niederschlagsmessungen stammen mehrheitlich aus den Nieder-schlagsstationen des automatischen Messnetzes von MeteoSchweiz. Einige stammen auch aus kantonalen Niederschlagsstationen. Tabelle 3 zeigt eine Übersicht der Niederschlagsstationen pro Einzugsgebiet. In Rahmen dieses Projektes wurden nur Niederschlagsdaten benutzt, die eine zeitliche Auflö-sung von mindestens einer Stunde aufweisen. Die Stationen, die in den Gra-fiken dieses Berichts verwendet wurden, sind fett hervorgehoben.

Einzugsgebiet	Niederschlagsstationen
Eschelisbach (TG)	Güttingen (MeteoSchweiz)
Äächeli (SG)	Widnau Ländenach (kantonale Messstationen)
Zapfenbach (SG)	Oberriet Kriessern (MeteoSchweiz)
Beggingerbach (SH)	Bargen (kantonale Messstation)
	Stühlingen (kantonale Messstation)
Furtbach (ZH)	Affoltern (MeteoSchweiz)
Salmsacher Aach (TG)	Amriswil (MeteoSchweiz)
	Bischofszell (MeteoSchweiz)
Mönchaltorfer Aa (ZH)	Hinwil (MeteoSchweiz)
	Mönchaltorf (kantonale Messstation)
Glatt (ZH)	Hinwil (MeteoSchweiz)

Kloten (MeteoSchweiz)

Tabelle 3: Niederschlagsstationen der verwendeten Niederschlagsdaten pro Einzugsgebiet.

Für die Einzugsgebiete Beggingerbach, Glatt, Salmsacher Aach und Mönchaltorfer Aa liegen Daten von mehreren Niederschlagsstationen vor. Bei diesen Einzugsgebieten wurde untersucht, ob die Niederschlagsdaten stark abweichen und, ob sie einen Einfluss auf die Zuordnung der Eintrags-typen haben. Die Zuordnung wurde anhand der Daten einer Messstation durchgeführt und mit den Daten der zweiten Messstation überprüft. Da für die Zuordnung der Eintrags-typen in erster Linie der Verlauf der Abflussganglinie entscheidend ist, wurden in den vorliegenden Fällen keine abweichenden Zuordnungen festgestellt.

2.3 Einzugsgebiete

Für die vorliegende Auswertung wurden acht NAWA-Standorte ausgewählt, bei denen PSM-Daten in 3.5-Tagesmischproben von April bis Juli für die Jahre 2019 und 2020 sowie Abflussmessungen vorliegen. Zusätzlich wurden auch die Ergebnisse von den zwei NAWA-Standorten im Kanton Bern einbezogen, die im Rahmen des Berner Pflanzenschutzprojektes im Jahr 2021 bereits mit der gleichen Methode untersucht wurden. Tabelle 4 zeigt die Liste der zehn Einzugsgebiete und deren Eigenschaften.

Fliessgewässer	Kt	Fläche EZG [km²]	Grösse Fliessgewässer	FLOZ	Abwasseranteil am Q347 [%]
Ballmoosbach	BE	1.4	Klein	2	0
Eschelisbach	TG	2.0	Klein	2	0
Chrümlisbach	BE	3.5	Klein	2	0
Äächeli	SG	3.6	Klein	3	0
Zapfenbach	SG	4.3	Klein	2	0
Beggingerbach	SH	10.7	Mittelgross	3	0
Furtbach	ZH	38.1	Mittelgross	4	> 50
Salmsacher Aach	TG	42.7	Mittelgross	4	0
Mönchaltorfer Aa	ZH	44.8	Gross	4	> 50
Glatt	ZH	417.4	Gross	6	> 50

Tabelle 4: Charakterisierung der Gewässer und ihrer Einzugsgebiete. Die Gebiete Chrümlisbach und Ballmoosbach wurden im Berner Pflanzenschutzprojekt untersucht. Die grau hinterlegten EZG sind grosse Einzugsgebiete, deren Eignung für die Anwendung der Methode zu prüfen ist.

Wie Tabelle 4 und Abbildung 2 zeigen, sind die zehn Einzugsgebiete sowie die untersuchten Fliessgewässer unterschiedlich gross. Die drei Einzugsgebiete Äächeli, Eschelisbach und Zapfenbach sind in einer ähnlichen Gröszenordnung wie die zwei Berner Einzugsgebiete Ballmoosbach und Chrümlisbach. Das Einzugsgebiet des Beggingerbachs ist etwa drei Mal grösser und weist damit eine mittlere Grösse auf. Die restlichen Einzugsgebiete sind

deutlich grösser, wobei die Glatt mit Abstand am grössten ist. Die Flussordnungszahlen bewegen sich zwischen 2 und 4 mit Ausnahme der Glatt, welche den Wert 6 ausweist. In drei Fliessgewässer wird gereinigtes Abwasser eingeleitet mit einem Abwasseranteil von bis zu 90% bei Niedrigwasserabfluss (Q347) für die Mönchaltorfer Aa und den Furtbach.

Wie schon im Abschnitt 2.1 beschrieben, wurde die angewendete Methode für kleine Einzugsgebiete konzipiert. Die Anwendung an den vier grösseren, mehrheitlich durch ARA beeinflussten Einzugsgebieten Furtbach, Salmsacher Aach, Mönchaltorfer Aa und Glatt ist eher als Methodentest zu verstehen.

Die Einzugsgebiete unterscheiden sich auch in der Landnutzung, wie Tabelle 5 aufzeigt. Der Anteil an Siedlungsflächen bewegt sich mehrheitlich zwischen 10 und 25 %, mit Ausnahme des Beggingerbachs und Eschelisbachs, welche wie die Berner Einzugsgebiete nur wenig Siedlungsfläche aufweisen. Der Anteil der totalen Landwirtschaftsflächen mit häufigem PSM-Einsatz (Acker-, Obst- und Rebbau, ohne Grasland und Weiden) ist in allen acht Einzugsgebieten geringer als in den Berner Einzugsgebieten, welche stark von der Landwirtschaft geprägt sind. Dennoch weisen die Gebiete Eschelisbach und Zapfenbach einen relativ hohen Anteil von 40-50 % auf. Der grösste Anteil der Landwirtschaftsfläche mit häufigem PSM-Einsatz fällt für alle Einzugsgebiete auf den Ackerbau. Für die Einzugsgebiete Eschelisbach und Salmsacher Aach ist auch der Obstbau relevant, Rebbau wird primär im Gebiet Äächeli betrieben. Der Waldanteil ist je nach Einzugsgebiet unterschiedlich mit einem Anteil von 3.5% beim Zapfenbach bis zu 38% beim Beggingerbach.

Einzugsgebiet	Siedlung [%]	Wald [%]	Total LW [%]	Ackerbau [%]	Obst [%]	Reben [%]
Ballmoosbach (BE)	2.6	14.0	78.4	77.3	1.1	0.0
Eschelisbach (TG)	0.4	24.5	49.5	31.5	18.0	0.0
Chrümmlisbach (BE)	2.7	34.7	51.6	51.5	0.1	0.0
Äächeli (SG)	23.6	31.7	10.5	6.6	0.1	3.8
Zapfenbach (SG)	22.2	3.5	44.6	44.5	0.0	0.1
Beggingerbach (SH)	3.6	37.6	23.7	23.7	0.0	0.0
Furtbach (ZH)	21.1	29.6	28.7	27.9	0.4	0.4
Salmsacher Aach (TG)	11.1	18.5	28.9	24.1	4.7	0.1
Mönchaltorfer Aa (ZH)	13.9	17.5	23.7	23.5	0.1	0.1
Glatt (ZH)	23.2	23.7	24.3	24.0	0.2	0.1

Tabelle 5: Landnutzung der acht untersuchten Einzugsgebiete sowie der beiden Berner Einzugsgebiete, die im Rahmen des Berner Pflanzenschutzprojekts ausgewertet wurden. Total LW: Gesamte Landwirtschaftsfläche mit häufigem PSM-Einsatz (Acker-, Obst- und Rebbau, jedoch ohne Grasland und Weiden)

3. Auswertung Eintragstypen

3.1 Hydrologie

Jedes Einzugsgebiet weist andere charakteristische Merkmale bezüglich der Reaktion des Abflusses auf den Niederschlag auf, siehe Anhang A1. Die Einleitungen durch die ARA in die Fließgewässer Furtbach, Glatt und Mönchaltorfer Aa sind anhand der Abflussdaten gut als kleine Tagesschwankungen erkennbar. Beim Beggingerbach sind ebenfalls kleine Tagesschwankungen im Abfluss zu erkennen.

Auffällig ist auch der vergleichsweise lang andauernde abfallende Ast des Wassers bei der Glatt, was auf die Grösse des Einzugsgebietes zurückzuführen ist (Abbildung 3). Auch für den Beggingerbach kehren die Abflüsse nach Niederschlagsereignissen nur langsam auf das Niveau der Basisabflüsse zurück. Im Gegensatz zu diesen zwei Gebieten fällt der Abfluss in den restlichen Gebieten deutlich schneller wieder auf tiefere Werte zurück. Abbildung 4 zeigen beispielhaft dafür die Niederschlags- und Abflussdaten für die Glatt und die Salmsacher Aach.

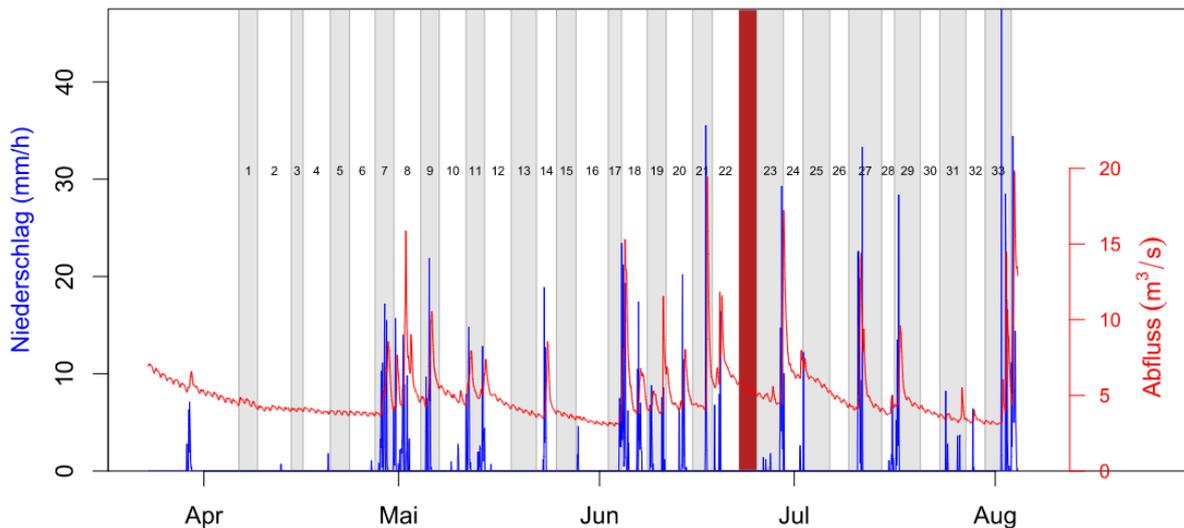


Abbildung 3: Niederschlags- und Abflussdaten für die Glatt, Station Zürich / Kloten, 2020. Der rote Balken zeigt eine fehlende Konzentrationsdaten.

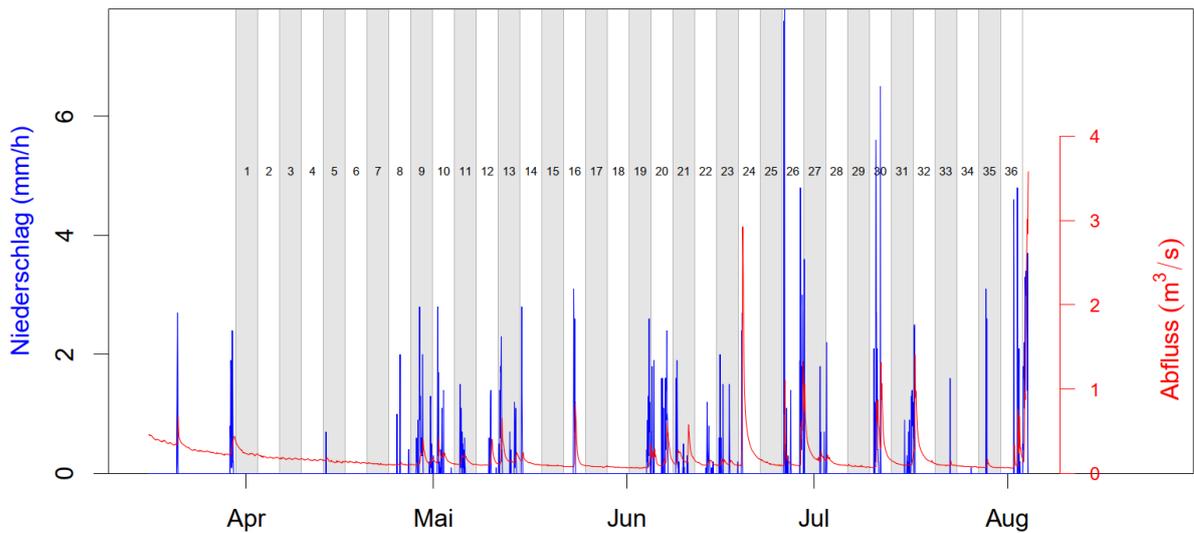


Abbildung 4: Niederschlags- und Abflussdaten für die Salmsacher Aach, Station Amriswil, 2020.

3.2 Zuordnung der Probenahmezeiträume zu Eintragstypen

Die Zuordnung der Probenahmezeiträume zu den vier Eintragstypen wurde anhand einer visuellen Auswertung gemacht. Damit die Zuteilung so objektiv wie möglich ist, wurde sie durch zwei Personen unabhängig durchgeführt und anschliessend verglichen.

Es gibt Zeiträume, in denen eine Zuordnung nicht eindeutig ist. Bei solchen Fällen wurde ein pragmatisches Vorgehen angewendet:

- Bei Einzugsgebieten mit einer langen Rücklaufzeit (>3-4 Tage) nach einem Regenereignis wurde nur dem ersten Probenahmezeitraum (3.5 Tage) nach dem Regenereignis Typ 2 (Abfluss vom Feld nach Niederschlag) zugeordnet. Den nachfolgenden Probenahmezeiträumen wurde Typ 4 (Trockenperiode) zugeordnet, auch wenn der Abfluss noch erhöht war. Ein Beispiel dafür ist Zeitraum Nummer 19 in der Grafik der Glatt 2019 (siehe Anhang A1).

Die Zuordnung der zwei Berner Einzugsgebiete Ballmoos und Chrümlisbach wurde grundsätzlich aus dem Berner Pflanzenschutzprojekt übernommen. Allerdings wurden einige Anpassungen vorgenommen, damit die Zuordnung mit den im Rahmen dieses Projekts getroffenen Annahmen konsistent ist.

Die vorgenommenen Zuordnungen sind in Anhang A1 für alle Einzugsgebiete und Jahre dargestellt.

3.3 Häufigkeit der Eintragstypen

Abbildung 5 zeigt, wie häufig welcher Eintragstyp in den zwei Jahren 2019 und 2020 in jedem Einzugsgebiet vorkommt. Die Zahlen geben nur die zeitlichen Anteile der vier Eintragstypen an und enthalten noch keine Information dazu, bei welchem Eintragstyp die Einträge erfolgt sind.

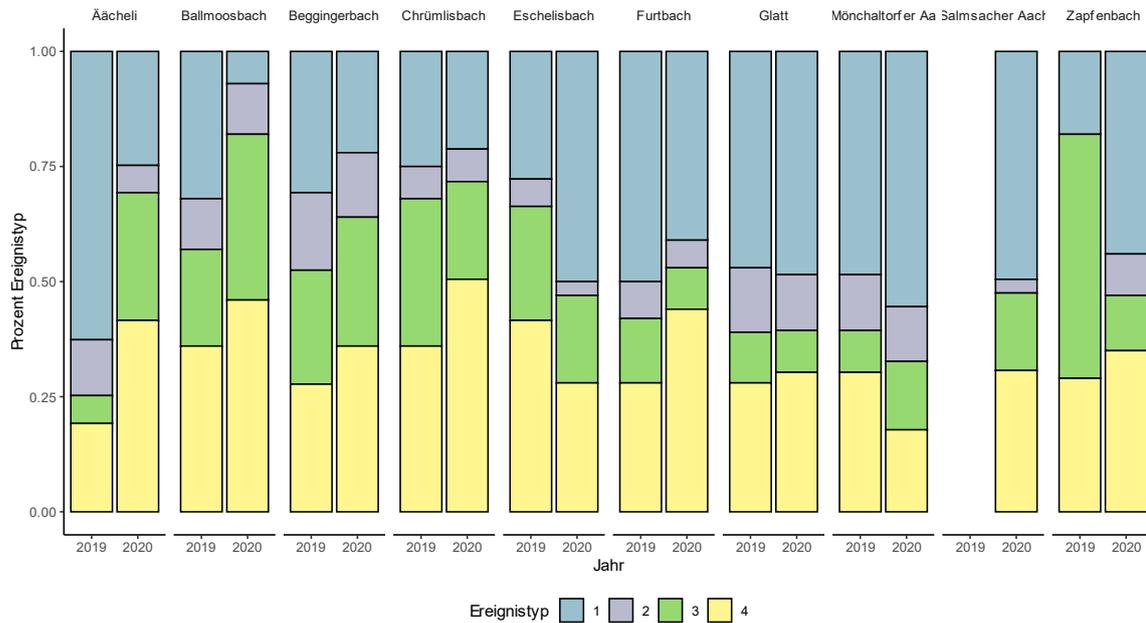


Abbildung 5 Prozentanteil der zugewiesenen Eintragstypen 1-4 für die Periode Ende März-Ende Juli in den Jahren 2019 und 2020. Einzugsgebiete Ballmoosbach und Chrümlisbach nur Ende März bis Ende Juni. Einzugsgebiet Äächeli Jahr 2019 nur Mitte Juni bis Mitte August

Abbildung 5 zeigt folgendes Bild:

- Es ist generell zu bemerken, dass die Anteile über alle Einzugsgebiete und beide Jahre in einer ähnlichen Grössenordnung sind.
- Typ 1 und Typ 4 überwiegen generell die anderen zwei Typen.
- Die grossen Einzugsgebiete weisen weniger Ereignisse von Typ 3 auf. Möglicherweise liegt dies daran, dass die Abflüsse der grösseren Gewässer durch kleine, evtl. lokale Regenereignisse nicht ausreichend stark beeinflusst werden.
- Die grossen Einzugsgebiete zeigen eine sehr ähnliche Verteilung der Eintragstypen in den 2 Jahren, bei den kleineren Einzugsgebieten gibt es teilweise grössere Unterschiede.
- Die Mehrheit der Einzugsgebiete zeigt einen höheren Anteil an Eintragstyp 1 im 2020 als im 2019.

4. Auswertungen Wirkstoffeinträge

4.1 Berechnung Wirkstofffrachten und Zuordnung Eintragstypen

Die Konzentrationsdaten wurden zu Ganglinien aufbereitet und mit den vorgängig ermittelten Eintragstypen überlagert. Abbildung 6 illustriert dies an einem Beispiel. Als separate Beilage liegen diese Ganglinien für alle detektierten Wirkstoffe pro Standort und Jahr vor.

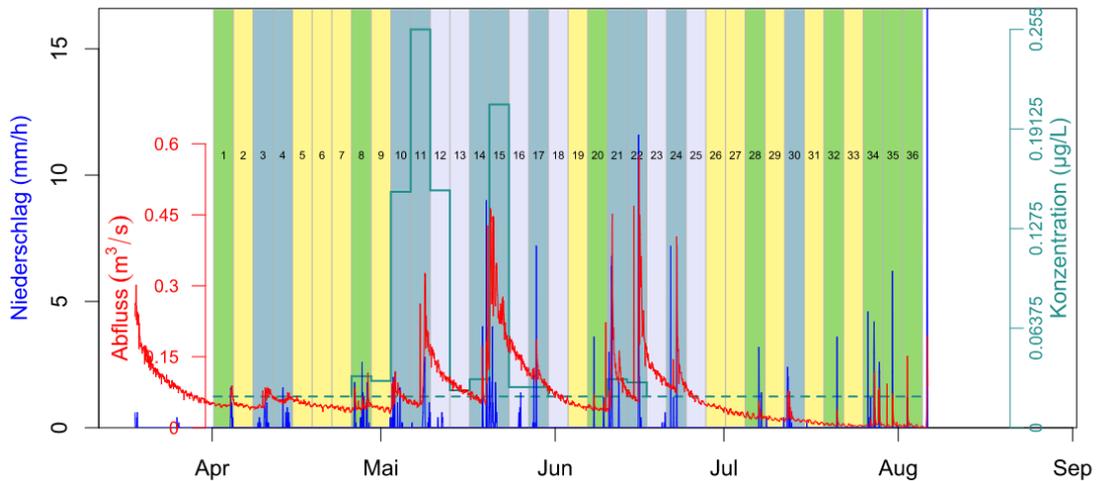


Abbildung 6: Überlagerung der Eintragstypen und der Konzentrationsdaten am Beispiel des Einzugsgebietes des Beggingerbachs im Jahr 2019 und des Wirkstoffes Bentazon. Die gestrichelte Linie stellt die Bestimmungsgrenze dar.

Zudem wurden für jeden Probenahmezeitraum der mittlere Abfluss bestimmt und damit die Wirkstofffracht berechnet. Auf dieser Basis konnten anschließend verschiedene aggregierte Auswertungen zu den Einträgen der Wirkstofffrachten erstellt werden.

Die berechneten Wirkstofffrachten weisen verschiedene Unsicherheiten auf:

- Die Probenahme erfolgt nicht abflussproportional, sondern zeitproportional. Bei Niederschlagsereignissen kann dies potenziell zu grossen Fehlern führen, da sowohl der Abfluss als auch die Konzentration während dem Zeitraum einer Mischprobe stark variieren können. Mit einer zeitproportionalen Probe wird die tatsächliche Fracht nicht korrekt abgebildet. Bei regengetriebenen Einträgen vom Feld wird sie vermutlich eher unterschätzt.
- Gleichzeitig hat Typ 1 gemäss Methodik Priorität. Es kann daher sein, dass Punktquellen-Einträge zu Typ 1 zugewiesen werden anstatt Typ 4. In diesem Fall würde man die Fracht von Typ 1 überschätzen.

Der Einfluss dieser beiden Effekte kann nicht quantifiziert werden.

4.2 Wirkstofffrachten pro Eintragstyp

Übersicht Wirkstofffrachten

Die folgenden zwei Abbildungen geben einen summarischen Überblick über die Grössenordnungen der Wirkstofffrachten, um eine Grundlage für die nachfolgenden Eintragstyp-spezifischen Auswertungen zu schaffen. Für die Salmsacher Aach liegen für das Jahr 2019 keine Abflussdaten vor, weshalb keine Frachten berechnet werden konnten. Zudem verfügt das Einzugsgebiet Äächeli im Jahr 2019 nur über Abflussdaten im Zeitraum Mitte Juni bis Mitte August. Daher ist die angegebene Fracht unvollständig und ist ein Vergleich der Gesamtfracht der zwei Jahren nicht sinnvoll. Die zwei Berner Einzugsgebiete Ballmoosbach und Chrümlisbach verfügen nur im Zeitraum Ende März bis Ende Juni über Konzentrationsdaten, sie sind daher nicht ganz vergleichbar mit den anderen Einzugsgebieten, für die auch im Juli Daten vorliegen.

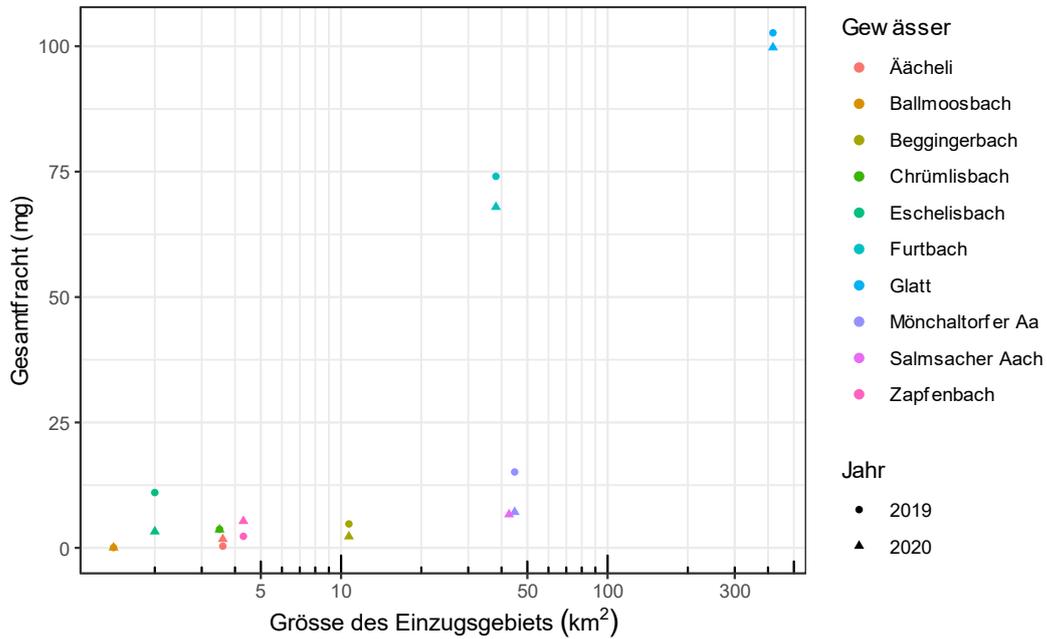


Abbildung 7: Aufsummierung der Wirkstofffrachten aller Substanzen pro Einzugsgebiet im Untersuchungszeitraum (April-Juli) in Bezug auf die Einzugsgebietsflächen. Die x-Achse ist logarithmisch dargestellt.

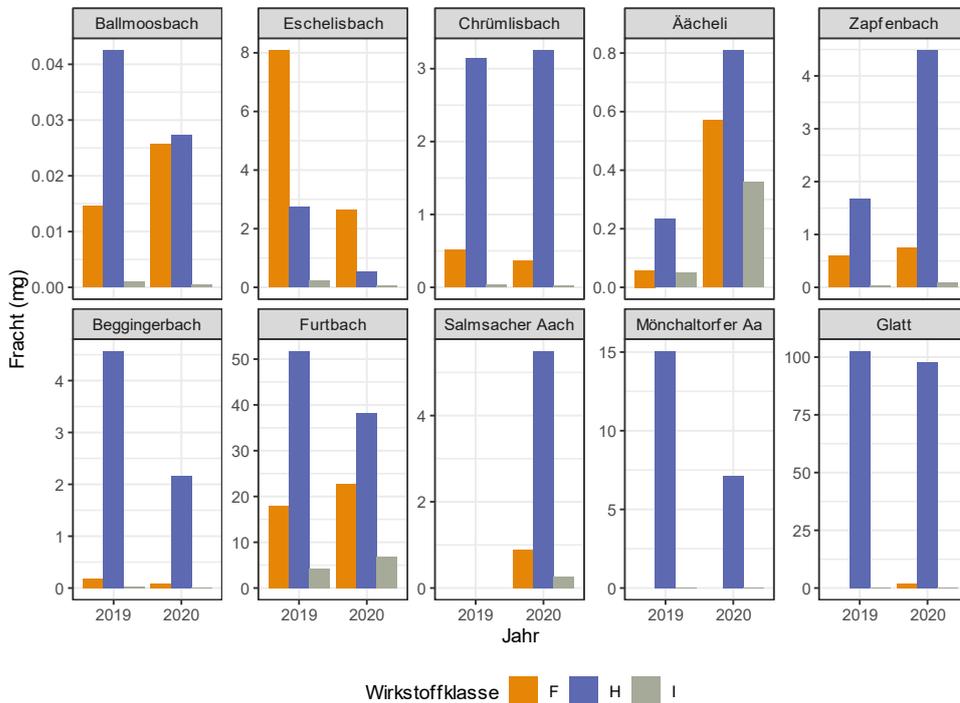


Abbildung 8: Überblick über die aufsummierten Wirkstofffrachten aller Substanzen pro Einzugsgebiet im Untersuchungszeitraum (April-Juli), aufgeschlüsselt nach Wirkstoffgruppen. Die y-Skalen (Fracht in [mg]) unterscheiden sich zwischen den einzelnen Einzugsgebieten.

Die beiden Diagramme lassen folgende Feststellungen zu:

- Die Grössenordnung der Frachten bleibt bei allen Einzugsgebieten zwischen den Jahren ähnlich, mit Unterschieden von bis zu maximal Faktor 5 zwischen den Jahren. Die Unterschiede zwischen den Einzugsgebieten und zwischen den Wirkstoffgruppen sind viel grösser (siehe unterschiedliche y-Skalen in Abbildung 8).
- In allen Einzugsgebieten abgesehen vom Eschelisbach sind die Herbizidfrachten erwartungsgemäss am grössten, gefolgt von Fungiziden und Insektiziden. Die Einzugsgebiete zeigen aber grössere Unterschiede bezüglich der Anteile der drei Wirkstoffgruppen. So sind beispielsweise in der Mönchaltorf Aa und in der Glatt praktisch nur Herbizide gemessen worden. Äächeli und Furtbach zeigen vergleichsweise hohen Insektizidfrachten. Im Eschelisbach überwiegen die Fungizidfrachten die Herbizidfrachten.
- Der Eschelisbach weist im Vergleich zur Einzugsgebietsgrösse sehr hohe Frachten bei allen Wirkstoffgruppen auf, insbesondere bei den Fungiziden. Der hohe Anteil an PSM-intensivem Obstbau könnte eine mögliche Erklärung sein. Es ist zudem zu bemerken, dass die Frachten im 2020 deutlich tiefer als im 2019 sind.
- Auch der Furtbach sticht mit einer sehr hohen Gesamtfracht bezogen auf die Einzugsgebietsfläche hervor. Der hohe Anteil an PSM-intensivem Gemüsebau könnte eine mögliche Erklärung sein.
- Die Wirkstofffrachten im Ballmoosbach sind mit Abstand die tiefsten, obwohl der Anteil an landwirtschaftlicher Fläche im Ballmoosbach hoch ist. Dies wurde auch in Rahmen des Berner Pflanzenschutzprojektes erkannt.
- Die Glatt weist im Vergleich zu den anderen Einzugsgebieten verhältnismässig geringe Frachten auf, insbesondere bei den Fungiziden aber auch bei den Insektiziden. Grund könnte sein, dass die PSM im oberhalb liegenden Greifensee abgebaut werden.

Frachtanteil der Eintragstypen

In Abbildung 9 ist der Beitrag der Eintragstypen zur Gesamtfracht pro Einzugsgebiet und Jahr dargestellt.

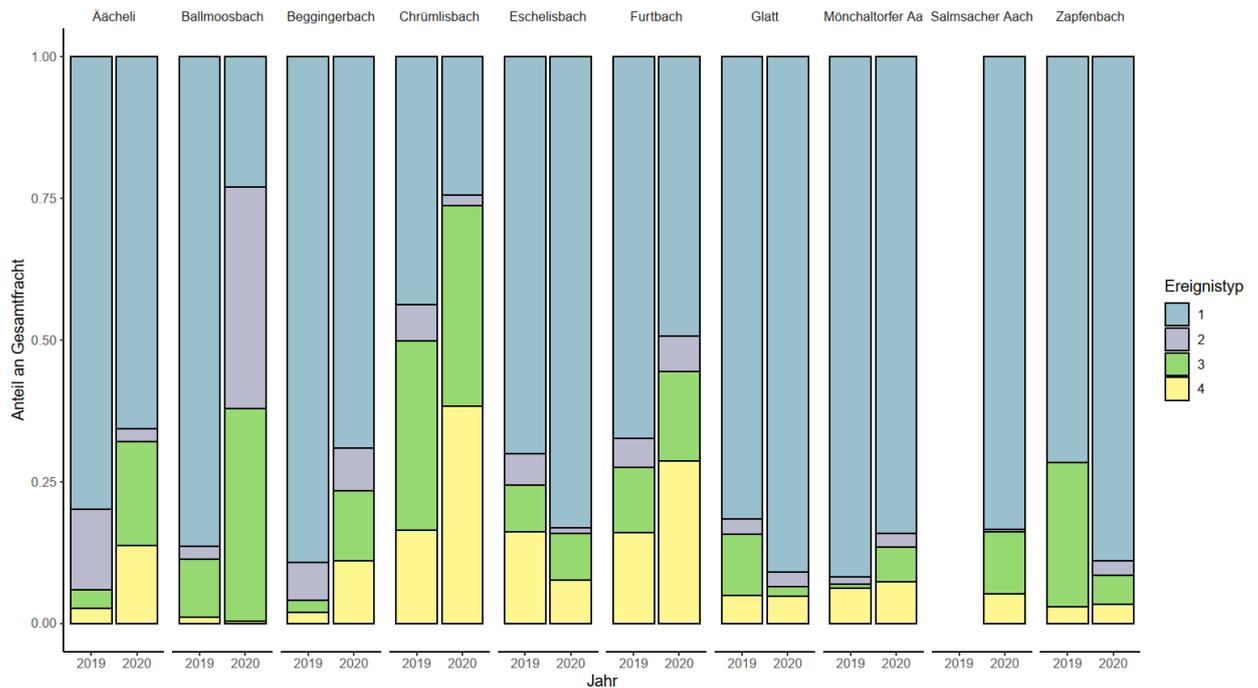


Abbildung 9: Beitrag Ereignistyp zur Gesamtfracht pro Einzugsgebiet und Jahr.

Abbildung 9 zeigt folgendes Bild:

- Im Allgemeinen überwiegen die Einträge während und nach Niederschlägen (Summe aus Eintragstypen 1 und 2) die anderen Eintragstypen (Typ 3 und 4). Aufgrund der methodisch bedingten hierarchischen Strukturierung (Typ 1 > Typ 2 > Typ 3 > Typ 4) können in diesen Frachten jedoch nicht nur Einträge durch Abfluss vom Feld, sondern teilweise auch Einträge von befestigten Flächen bzw. während Trockenperioden enthalten sein (Typ 3 und 4). Die hierarchische Strukturierung führt also eher zu einer Überschätzung der regengetriebenen Einträge. Umgekehrt könnten die regengetriebenen Einträge aber auch unterschätzt werden, wie es zum Beispiel bei einer Frachtbrechung mit zeitproportionalen Proben (wie in dieser Studie durchgeführt) der Fall sein kann.
- Den grössten Anteil anderer Ereignistypen als Typ 1 weist das Einzugsgebiet Chrümlisbach auf. Dieses Einzugsgebiet zeigt wesentliche Anteile von Eintragstyp 3 (Abfluss von befestigten Flächen) und Eintragstyp 4 (Eintrag während Trockenperiode).
- Umgekehrt kann postuliert werden, dass in den grossen Einzugsgebieten Eintragstyp 1 besonders stark dominiert. Hier passt aber das EZG Furtbach nicht ins Bild.
- Punktquellen (Eintragstyp 4) scheinen bei manchen Einzugsgebieten eine wichtige Rolle zu spielen, bei anderen sind sie weniger wichtig.
- Eintragstyp 2 scheint generell weniger relevant zu sein, mit Ausnahme des Ballmoosbachs im Jahr 2020.
- Es gibt kein klares Muster für den Zusammenhang zwischen der Verteilung der Eintragstypen und der Grösse der Einzugsgebiete oder dem Anteil und der Art der betriebenen Landwirtschaft. Auch ist keine klare Ten-

denz zwischen den beiden ausgewerteten Jahren feststellbar. Dies unterstreicht, dass auch andere Faktoren die Einträge beeinflussen, welche mit dieser Methode nicht abgebildet werden.

- Die Beiträge der Eintragstypen zur Gesamtfracht pro Einzugsgebiet und Jahr sind deutlich heterogener als die Verteilung der Eintragstypen im Abbildung 5. Dies weist darauf hin, dass die Wirkstoffeinträge nicht primär durch die Hydrologie getrieben sind, sondern durch andere Faktoren (wie z.B. angewendete Mengen, Anwendungsort und -zeitpunkt, getroffene risikomindernde Massnahmen, etc.) beeinflusst werden.

Wirkstofffrachten pro Eintragstyp

Abbildung 10 zeigt den Beitrag von Ereignistypen zur Gesamtfracht pro Einzugsgebiet, Wirkstoffklasse und Jahr, aufgeschlüsselt nach Eintragstyp.

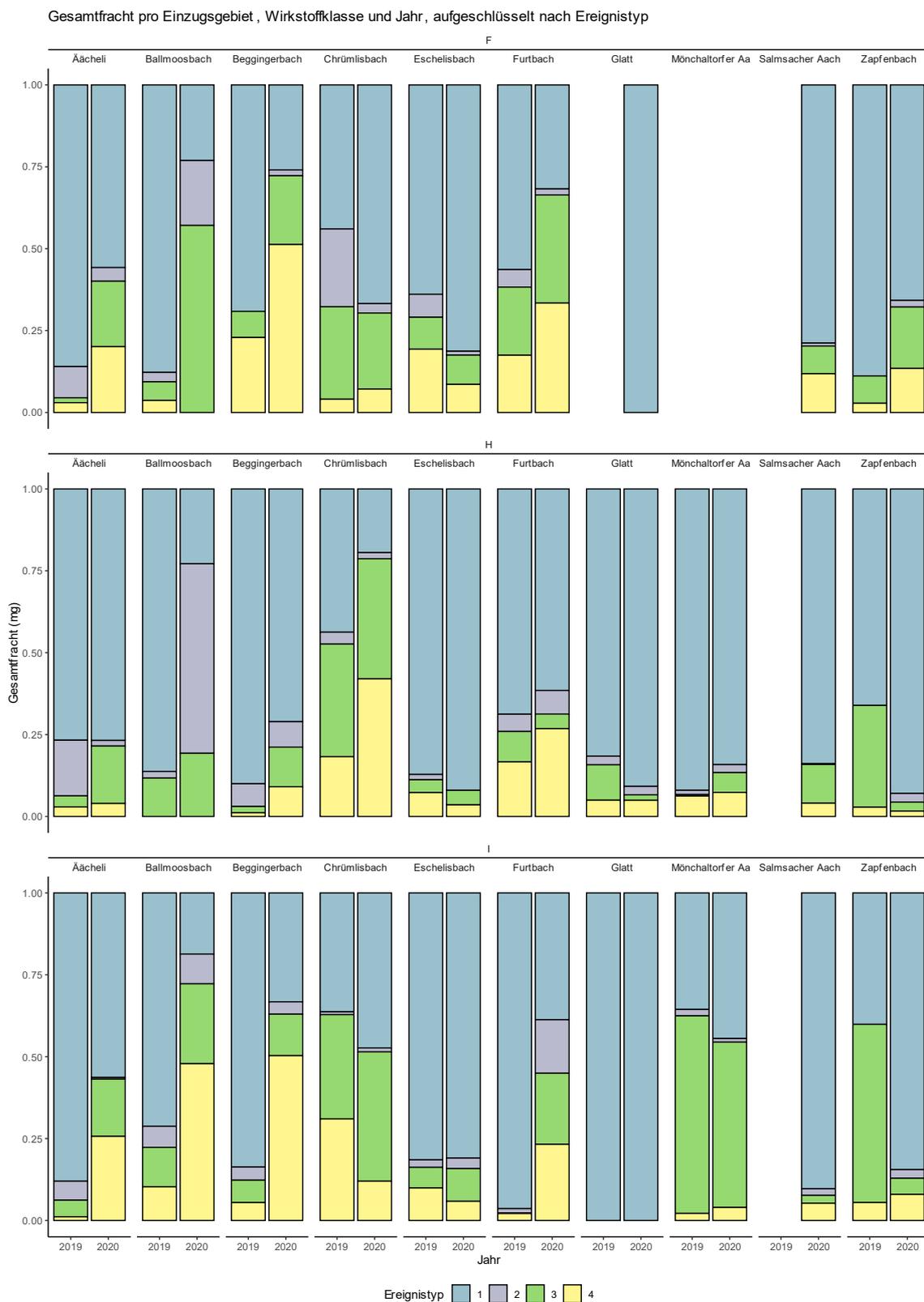


Abbildung 10: Beitrag Ereignistyp zur Gesamtfracht pro Einzugsgebiet, Wirkstoffklasse und Jahr, aufgeschlüsselt nach Eintragungstyp.

Die nach Eintragungstyp aufgeschlüsselten Gesamtfrachten pro Wirkstoffgruppe zeigen folgendes Bild:

- Alle Eintragstypen kommen in allen 3 Substanzklassen vor. Insgesamt scheint die Verteilung der Eintragstypen für alle 3 Substanzklassen ähnlich zu sein. Es ist also zum Beispiel nicht so, dass Insektizide viel häufiger in Trockenperioden in die Gewässer eingetragen werden als Herbizide. Allerdings gibt es grössere Unterschiede zwischen einzelnen Jahren, Standorten und Stoffgruppen.
- Im Ballmoosbach überwogen in beiden Jahren die Trockenperioden (vgl. Kap. 3.3). Trotzdem wurden kaum Einträge während Trockenperioden ausgewiesen. Nur bei den Insektiziden ist, insbesondere für das Jahr 2020, ein relevanter Frachtanteil in Trockenperioden zu beobachten.
- In der Glatt sind alle Einträge von Fungiziden und Insektiziden dem Eintragstyp 1 zugeordnet.

Weitere spezifische Auswertungen

Im Anhang A2 sind weitere Grafiken beigelegt, die zu detaillierteren und wirkstoffspezifischen Interpretationen dienen können. Sie umfassen:

- Balkendiagramme der Frachten pro Wirkstoff, Einzugsgebiet und Jahr
- Balkendiagramme der Fracht aggregiert nach Wirkstoffgruppen, pro Jahr und Einzugsgebiet. Die Balken sind gestapelt nach Beitrag der 3.5-Tagesmischproben. Damit ist es möglich zu erkennen, ob die Gesamtfracht eines Jahres aus dem Beitrag vieler tief konzentrierten oder weniger hoch konzentrierten Proben besteht.
- Balkendiagramme der Fracht aggregiert nach Wirkstoffgruppen, pro Jahr und Einzugsgebiet. Die Balken sind gestapelt nach Wirkstoff
- Box-Plot der Frachtbeiträge der einzelnen Probenahmen

Anhand dieser Auswertungen können folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Es gibt kein klares Muster, dass für einzelne Wirkstoffe bestimmte Eintragstypen überwiegen (Seite 6).
- Während sich die Gesamtfracht eines Wirkstoffs meistens aus mehreren verschiedenen Mischproben zusammensetzt, existieren auch einige Fälle in denen die Gesamtfracht in einer einzelnen 3.5-Tagesmischprobe enthalten ist. Dies trifft in erster Linie auf Insektizide zu, wie beispielsweise im Fall von Imidacloprid im Beggingerbach 2019 oder Chlorpyrifos in der Glatt 2019 (Seite 3 von A2).
- Anteilmässige hohe Frachten während Trockenperioden sind zum Beispiel im Äächeli (Metalaxyl, 2020), im Beggingerbach (Boscalid, beide Jahre), im Furtbach (Propamocarb, beide Jahre), im Chrümmelisbach (Dimethanamid und Terbutylazin, 2020) feststellbar. Aufgrund der verschiedenen Skalen ist aber eine vollständige Erkennung von solchen Fällen schwierig (Seiten 1-3 von A2).
- Mehrheitlich setzen sich die Frachten der Eintragstypen 3 und 4 aus mehreren bis vielen Einzeleinträgen zusammen (Seiten 4-5 von A2). Es gibt aber auch Fälle, indem einzelne 3.5-Tagesmischproben mit Typ 1 zu hohen Frachten beitragen.

- Auffällig ist, dass oft einzelne Wirkstoffe in einem Einzugsgebiet mengenmässig dominieren. Dies ist zum Beispiel der Fall bei der Glatt, wo bei den Fungiziden im 2020 mit Abstand Propamocarb dominiert und bei den Herbiziden Mecoprop (Seiten 1-2 von A2).
- Einzelne Wirkstoffe sind in mehreren EZG dominant. Beispielsweise die Herbizide Mecoprop und Metamitron oder das Insektizid Chlorpyrifos (Seiten 2-3 von A2). Ansonsten zeigen die Einzugsgebiete unterschiedliche Zusammensetzungen der Wirkstofffrachten. Innerhalb des Einzugsgebiets besteht häufig eine gewisse Konstanz über die beiden Jahre.

Vergleich mit Risikoindikator

Der Risikoindikator des BLW für Oberflächengewässer geht von einer einheitlichen Verteilung der Eintragswege für alle Wirkstoffe aus (Punktquellen (40%), Drift (5%), Abschwemmung direkt und indirekt (44%) und Drainage (11%))⁵. Die hier vorgenommenen Analysen weisen keine grösseren Unterschiede zwischen den Wirkstoffgruppen auf und stützen damit tendenziell die Annahme, für alle Wirkstoffe die gleiche Verteilung der Eintragswege zu definieren.

Eine 1:1-Zuordnung der in dieser Analyse definierten Eintragstypen zu den Eintragswegen des Risikoindikators ist nicht einfach. Zudem werden in der vorliegenden Analyse die ökotoxikologischen Qualitätskriterien nicht einbezogen und die Anteile könnten sich bei einer risikobasierten Betrachtung verschieben (siehe Diskussion in Kapitel Fazit und Ausblick). Die vorliegende Analyse zeigt aber klar, dass mit dieser Methode Einträge während Trockenperioden gut von Einträgen während Regenperioden unterschieden werden können und somit Hinweise zu Einträgen aus Punktequellen gewonnen werden können. Zudem unterstreicht sie, dass sowohl die regengetriebenen wie auch die Trockenwettereinträge einen Beitrag zur PSM-Belastung leisten und bei Massnahmen zur PSM-Risikoreduktion berücksichtigt werden müssen.

5. Fazit und Ausblick

Die Auswertungen in diesem Bericht beruhen auf einer bereits bestehenden Methode. Diese umfasst nicht automatisierte Schritte, die teilweise auf subjektiven visuellen Auswertungen basieren. Mit gewissen Annahmen war es möglich, die definierten Eintragstypen auch auf grössere Einzugsgebiete anzuwenden und es wurden keine besonderen Schwierigkeiten oder Unstimmigkeiten festgestellt. Die Hauptideen können wie folgt zusammengefasst werden:

- Die Zuordnung der hydrologischen Daten zu Ereignistypen zeigt ein ziemlich konstantes Bild mit eher kleinen Unterschieden zwischen Jahren und Einzugsgebieten. Regenperioden (Typ 1) und Trockenperioden (Typ 4) kommen ähnlich häufig vor.

5 Risikoindikatoren Pflanzenschutzmittel (admin.ch)

- Gemäss der Auswertung der Frachtanteile pro Eintragstyp zeigt sich aber ein eher heterogenes Bild. Es überwiegen generell die Frachteinträge, die während Regenperioden stattfinden (Eintragstyp 1). Es gibt einige Ausnahmen, in denen Eintragstyp 3 oder 4 dominierend ist. Dies deutet darauf hin, dass die stark unterschiedlichen Frachtanteile der Eintragstypen je nach Jahr und Einzugsgebiet nicht primär von der Hydrologie verursacht sind. Andere Faktoren (wie z.B. angewendete Mengen, Anwendungsort und -zeitpunkt, getroffene risikomindernde Massnahmen, etc.) scheinen eine grosse Rolle zu spielen.
- Die Analysen zeigen keine klaren Unterschiede zwischen Herbiziden, Fungiziden und Insektiziden bezüglich der Frachtanteile der Eintragstypen. Alle Eintragstypen bzw. Eintragspfade scheinen für alle Wirkstoffgruppen relevant zu sein. Es leisten also sowohl die regengetriebenen wie auch die Trockenwettereinträge einen Beitrag zur PSM-Belastung und müssen folglich bei Massnahmen zur PSM-Risikoreduktion berücksichtigt werden.

Die Studie hat gezeigt, dass die für kleine landwirtschaftlich geprägte Einzugsgebiete konzipierte Methode auch auf andere Einzugsgebiete übertragbar ist und aussagekräftige Ergebnisse liefert. In Zukunft kann diese Methode noch auf mehr Jahre und mehr Standorte angewendet werden und mit noch weiterführenden Auswertungen erweitert werden. Für die Studie wurden Annahmen getroffen wie das Eintragsverhalten der PSM mit den hydrologischen Gegebenheiten zusammenhängt. Diese Annahmen beruhen auf dem aktuellsten wissenschaftlichen Kenntnisstand über PSM-Eintragswege. Es konnte im Rahmen der vorliegenden Studie aber nicht genauer untersucht werden, ob die vorgenommene Einteilung das Eintragsverhalten tatsächlich passend abbildet.

Die Resultate stützen tendenziell das Vorgehen im PSM-Risikoindikator die gleiche Verteilung der Eintragswege für alle Wirkstofftypen anzunehmen. Ein direkter numerischer Vergleich der Verteilung der Eintragswege mit dem Risikoindikator ist aber zum jetzigen Zeitpunkt nicht möglich.

Das insgesamt eher heterogene Bild bezüglich den Frachtanteilen und die Unterschiede gegenüber dem Vorkommen der Eintragstypen beruhen vermutlich auf der Komplexität und Vielfalt der Einflussfaktoren. Das Vorkommen der Eintragstypen und Stoffeinträge hängt u.a. von den meteorologischen Bedingungen des Einzeljahres, von den angewendeten Wirkstoffen und dem Zusammenspiel von Applikationszeitpunkt und Niederschlagsverhältnissen ab. Diese Faktoren variieren auch für ein einzelnes Einzugsgebiet, weshalb die Eintragstyp-spezifischen Frachtanteile teilweise einen Zufallscharakter haben. Es ist denkbar, dass über eine längere Zeitreihe klarere Muster und Trends erkennbar wären.

Die vorgenommenen Auswertungen bieten eine Fülle von Analysemöglichkeiten, die im Einzelfall sehr interessant sein können. Beispielsweise können einzelne Einzugsgebiete oder einzelne Wirkstoffe genauer analysiert werden oder das Eintragsverhalten kann anhand der Ganglinien-Diagramme sehr spezifisch untersucht werden. In solchen weitergehenden Untersuchungen

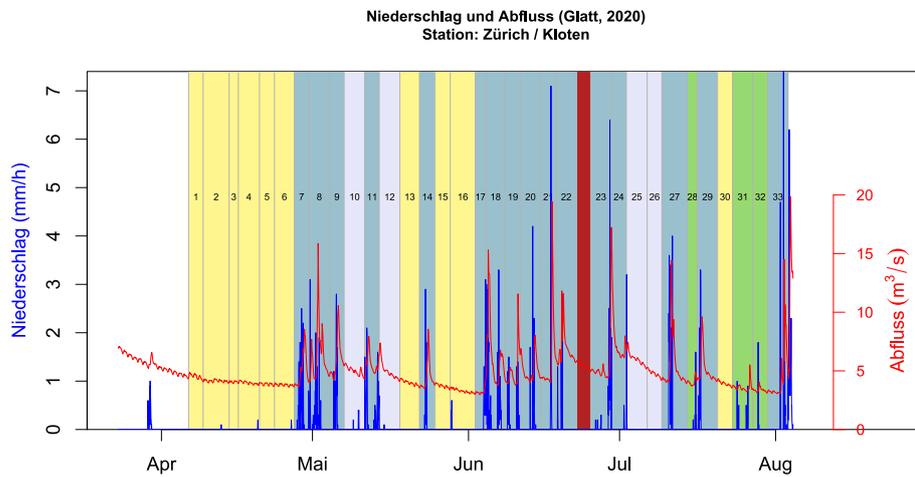
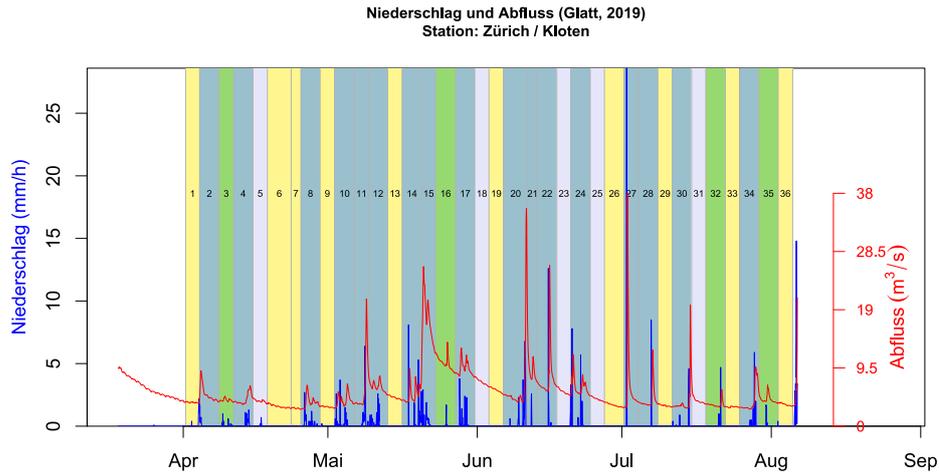
könnte das Gewicht noch stärker auf die Wirkstoffe gelegt werden, die zu Überschreitungen von Qualitätskriterien geführt haben.

Die hier vorgestellten Ergebnisse beruhen auf Stofffrachten. Nicht immer verursachen die Stoffe mit den höchsten Frachten auch die höchsten Risiken. Es wäre interessant, mit derselben Methode eine Auswertung mit Fokus auf die Risiken durchzuführen. Beispielsweise könnte man zählen, wie viele Überschreitungen von Qualitätskriterien in welchem Eintragstyp auftreten. Diese Analyse ist auch für Standorte möglich, die nur eine Pegelmessung, aber keine Abflussmessung haben.

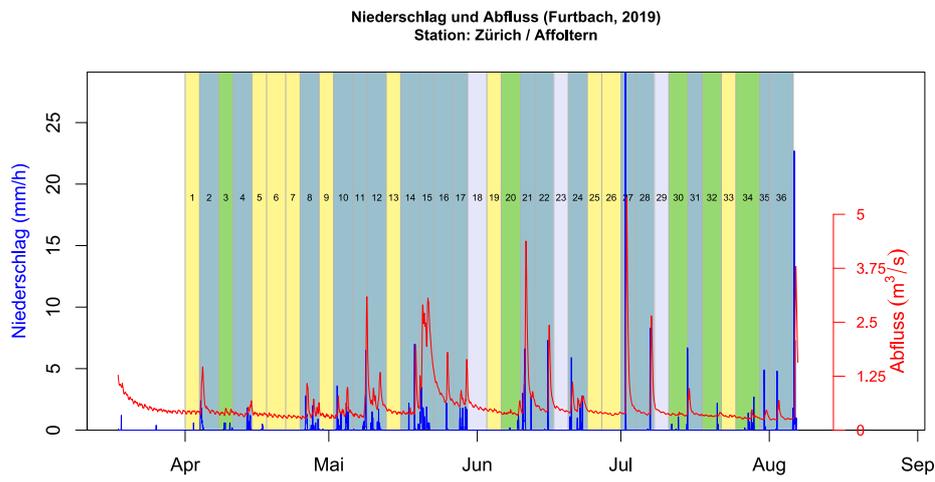
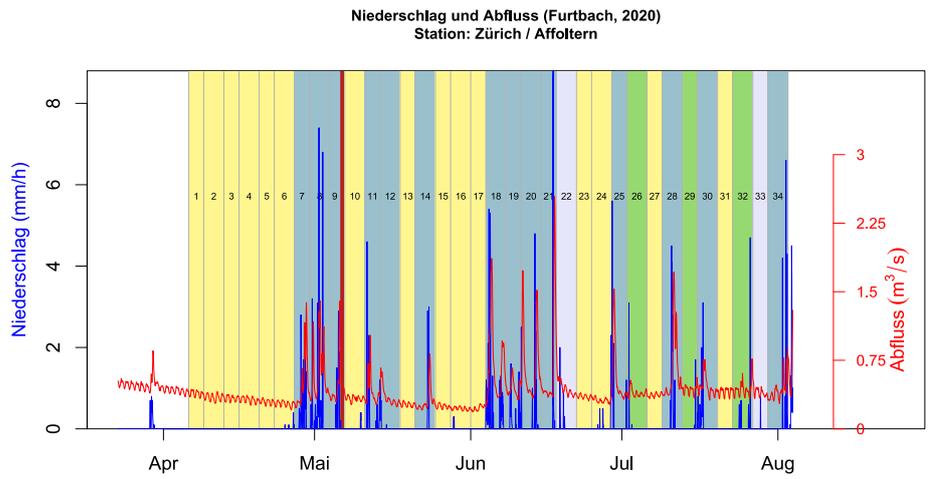
A1 Zuordnung Eintragstypen

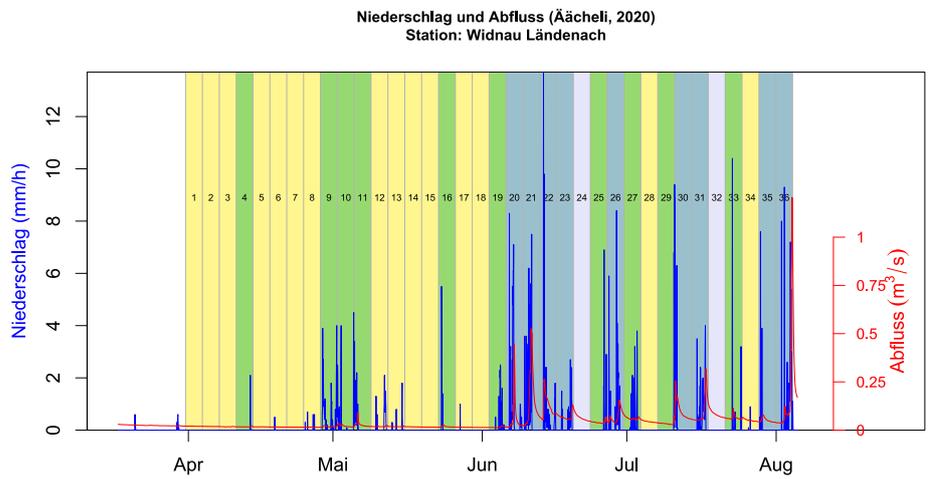
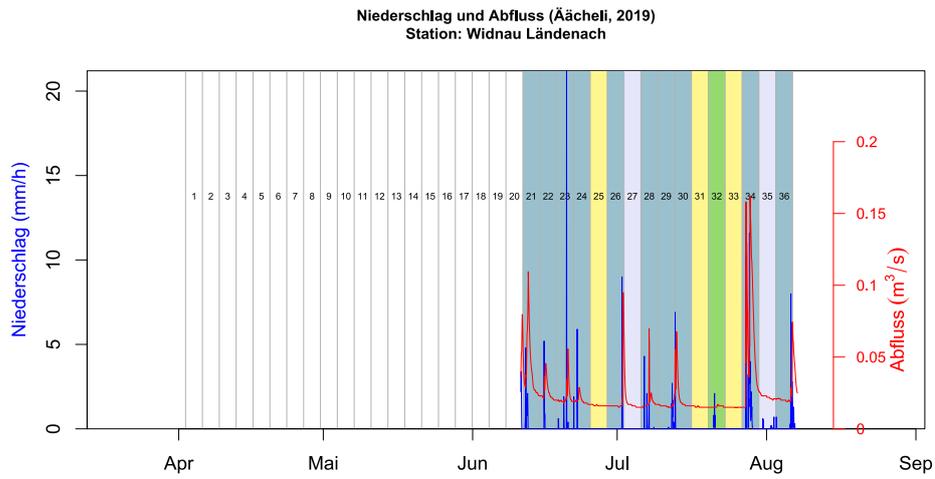
Die nachfolgenden Diagramme zeigen die vorgenommenen Zuordnungen der Probenahmezeiträume zu den definierten Eintragstypen (pro Einzugsgebiet und Jahr).

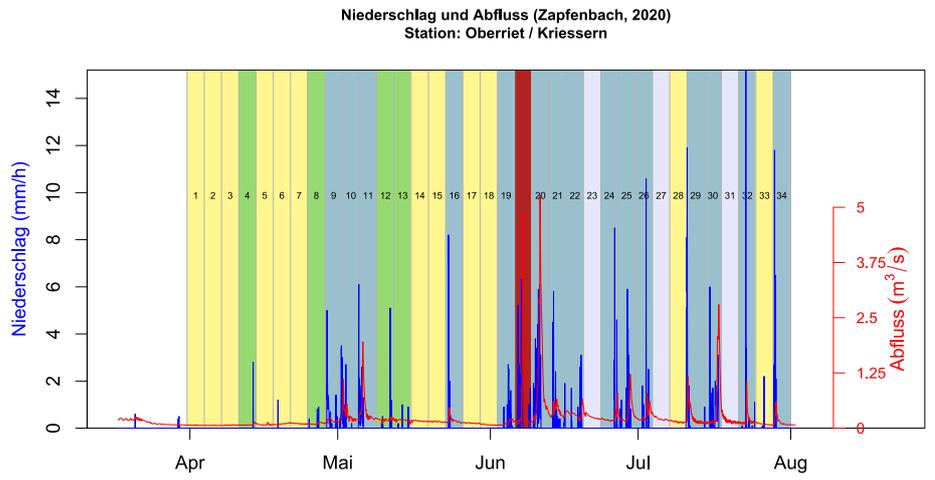
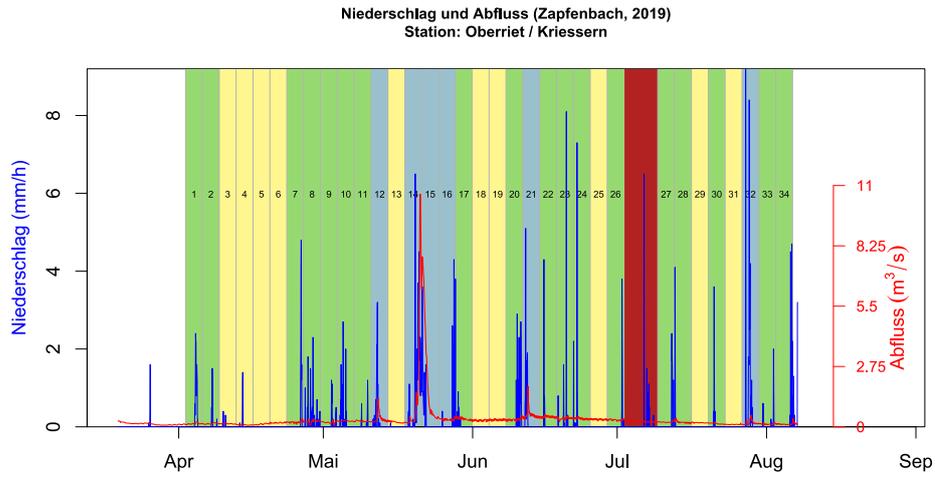
Die roten Balken stellen Zeiträume dar, in denen keine Konzentrationsdaten für das Einzugsgebiet vorhanden sind.

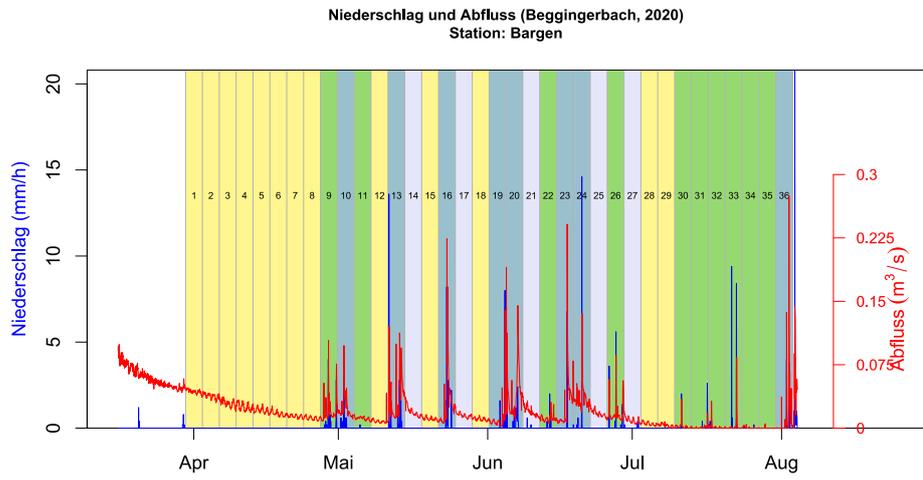
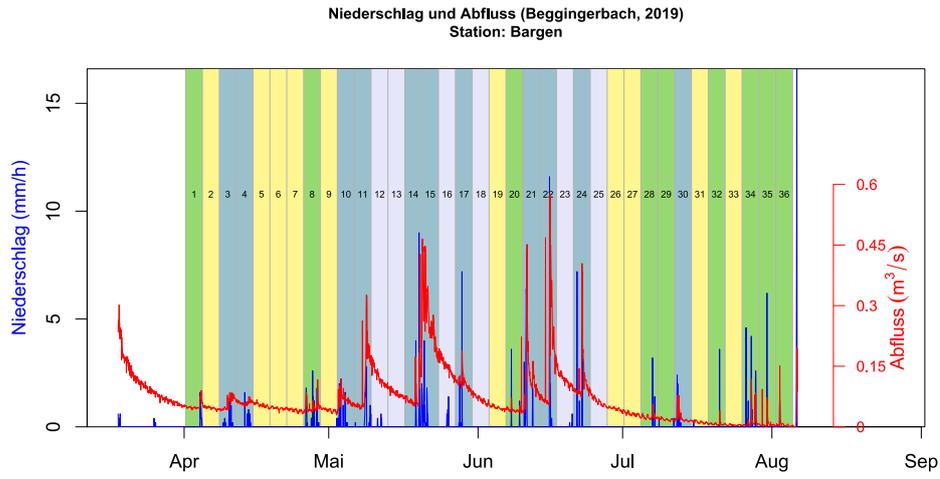


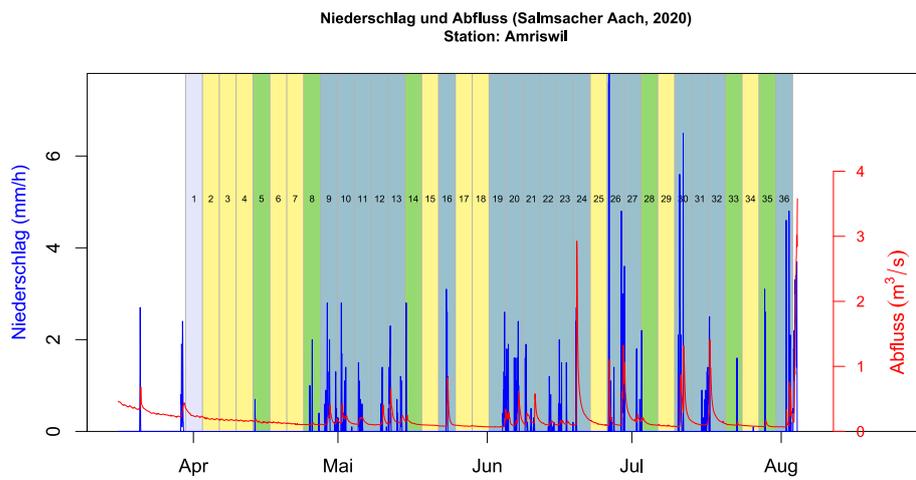
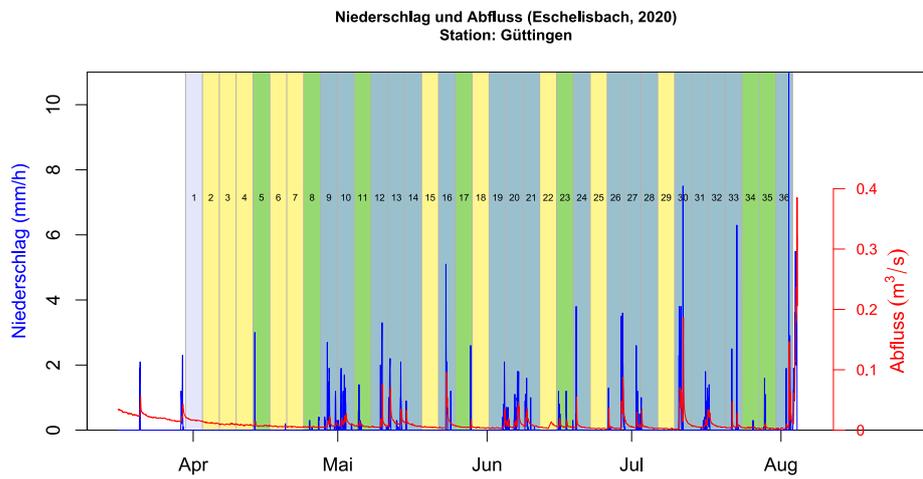
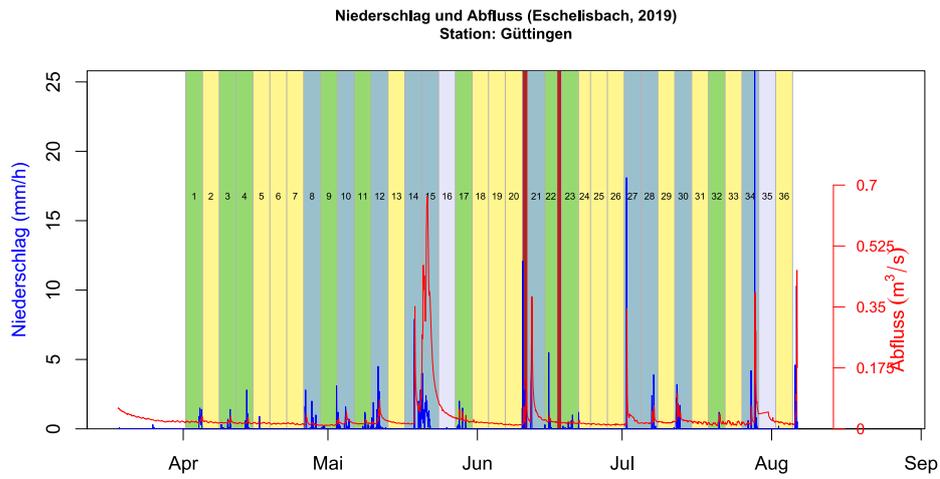
f

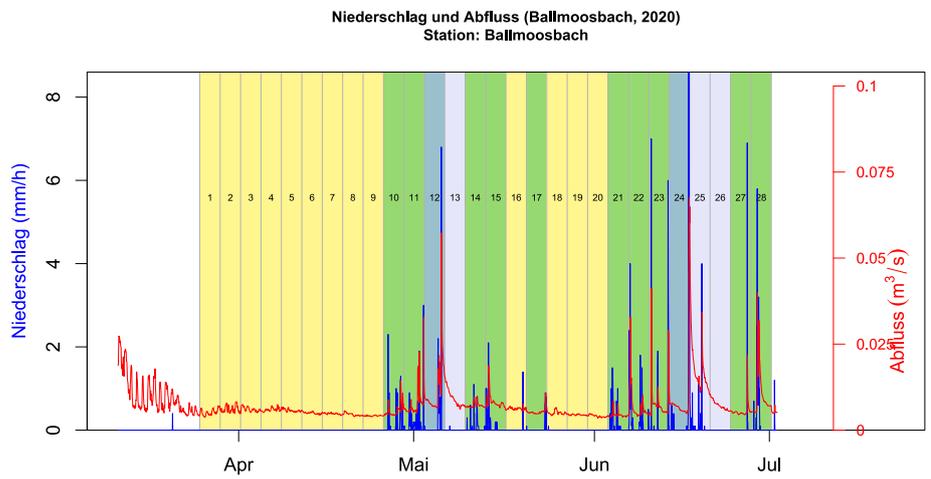
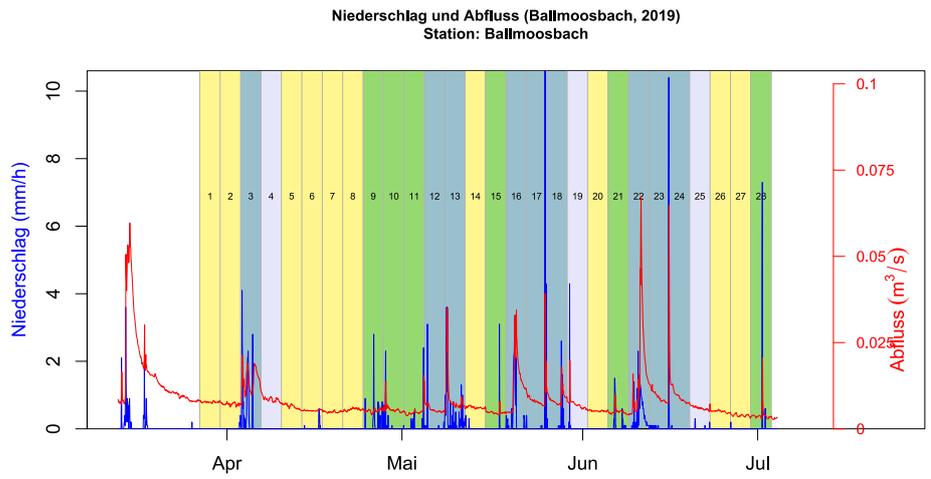


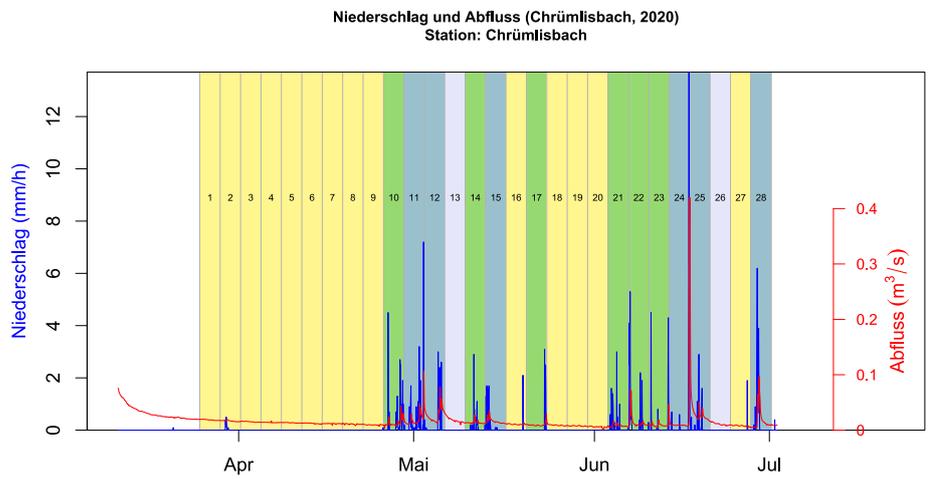
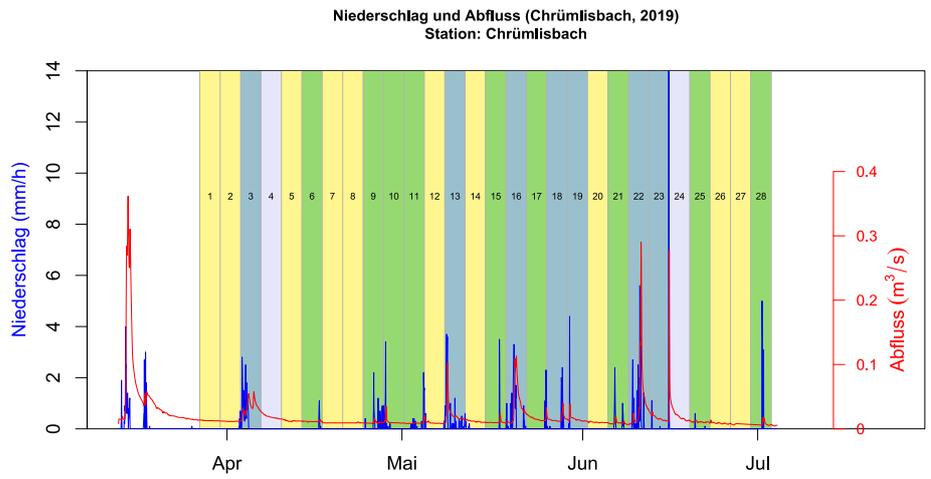












A2 Frachtanalysen

Die folgenden Seiten enthalten verschiedene Auswertungen:

- Balkendiagramme der Frachten pro Wirkstoff, Einzugsgebiet und Jahr (Seiten 1-3).
- Balkendiagramme der Frachten aggregiert nach Wirkstoffgruppen, pro Jahr und Einzugsgebiet. Die Balken sind gestapelt nach Beitrag der 3.5 - Tagesmischproben (Seiten 4-5). Damit ist es möglich zu erkennen, ob die Gesamtfracht eines Jahres sich aus der Summe vieler tief konzentrierter oder weniger hoch konzentrierter Proben zusammensetzt.
- Balkendiagramme der Frachten aggregiert nach Wirkstoffgruppen, pro Jahr und Einzugsgebiet. Die Balken sind gestapelt nach Wirkstoff (Seite 6).
- Box-Plot Frachtbeiträge der einzelnen Probenahmen (Seiten 7-8).

Es ist zu beachten, dass die y-Achsen in diesen Grafiken unterschiedliche Skalen ausweisen.