

Trockenheit in der Schweiz: Analyse der zweiten Jahreshälfte 2015 aus Sicht der Informationsplattform drought.ch

GEO 511 Masterarbeit

von

Madlaina Juvalta

10-718-435

Betreut durch

Luzi Bernhard - luzi.bernhard@wsl.ch

Dr. Konrad Bogner - konrad.bogner@wsl.ch

Dr. Massimiliano Zappa - massimiliano.zappa@wsl.ch

Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL

Forschungseinheit Gebirgshydrologie und Massenbewegungen

Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf

Fakultätsvertretung

Prof. Dr. Jan Seibert

September 2016

Geographisches Institut, Universität Zürich

Zusammenfassung

Im Jahr 2013 wurde die internetbasierte Plattform drought.ch freigeschalten. Durch die Plattform werden Informationen zu aktuellen und bevorstehenden Wasserdefiziten in der Schweiz der breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht. Hydro-meteorologische Echtzeitdaten bereits existierender Messnetze werden mittels Modellierungen in PREVAH (Precipitation-Runoff-Evapotranspiration HRU Model) bezüglich Trockenheit aufbereitet und als typisierte Übersichtskarten auf drought.ch publiziert. Trockenheitsinformationen werden für die allgemeine Lage, als auch Parameterspezifisch dargestellt. Aktuell stellt drought.ch ein Prototyp dar bei welchem laufend Änderungen und Anpassungen angebracht werden.

Seit der Freischaltung der Informationsplattform drought.ch wurden in der Schweiz noch nie so viele anhaltende Trockenheitsperioden registriert, wie während der zweiten Jahreshälfte 2015. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden die Trockenheitsereignisse dieser Zeit aus Sicht der Informationsplattform drought.ch analysiert. In einem ersten Teil wurden anhand der publizierten Trockenheitsinformationen zur allgemeinen Lage als auch der parameterspezifischen Informationen die Muster der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Trockenheitsereignisse beleuchtet. Auffällige Trockenheitsmuster wurden zudem mit gemessenen Niederschlagsdaten verglichen. Für den zweiten Teil wurde auf einer Internetrecherche basierend ein Synthesebericht der Medienberichte zu Hitze und Trockenheit in der Schweiz verfasst. Der dritte Teil dieser Arbeit setzt sich mit der User- und Besuchsstatistik der Informationsplattform sowie der Analyse der User-Umfrage auseinander. Der vierte Teil behandelt die Auswertungen der mittel- und langfristigen Trockenheitsvorhersagen, welche im Zusammenhang mit drought.ch simuliert werden.

Die Untersuchungen der Trockenheitsereignisse des zweiten Halbjahrs 2015 zeigen, dass die für drought.ch aufbereiteten Trockenheitsinformationen eine solide Grundlage für Ereignisanalysen bieten. Anhand der Informationen zu verschiedenen Kenngrößen lassen sich regional differenzierte Prozessketten erkennen. Medienbeiträge erwiesen sich als nützliche Quellen, um auch die Folgen der Trockenheitsereignisse zu beleuchten. Damit die Trockenheitsinformationen den User der Plattform einen Mehrwert bietet, müssen die Informationen entsprechend aufbereitet und dargestellt werden. Im Rahmen dieser Arbeit konnten diesbezüglich Verbesserungsvorschläge erarbeitet werden. Um den gesellschaftlichen Beitrag der Informationsplattform zu steigern, müssen auch die Trockenheitsprognosen weiterentwickelt werden.

Inhalt

Zusammenfassung	I
1 Einleitung.....	1
2 Hintergrund	5
2.1 Trockenheit.....	5
2.1.1 Definition.....	5
2.1.2 Trockenheitsindizes	9
2.1.3 Modellierung und Vorhersage von Trockenheit.....	11
2.2 Trockenheit in der Schweiz.....	12
2.3 Informationsplattform drought.ch	13
2.3.1 Aufbau und Inhalte von drought.ch	14
2.3.2 Modellierung und Darstellung	15
2.4 Überblick der meteorologischen Situation 2015 in der Schweiz	18
3 Daten und Methoden	23
3.1 Daten	23
3.2 Methoden.....	25
4 Analyse der zweiten Jahreshälfte 2015 aus Sicht der Informationsplattform drought.ch.....	31
4.1 Ereignisanalyse anhand der Trockenheitsinformationen zur aktuellen Lage.....	31
4.1.1 Trockenheitsstufen der «Allgemeinen Lage»	31
4.1.2 Vergleich ausgewählter Trockenperioden mit gemessenen Tages-Niederschlagssummen	39
4.1.3 Trockenheitsstufen der verschiedenen Parameter.....	45
4.1.4 Fazit	57
4.2 Hitze und Trockenheit in den Schweizer Medien Synthesebericht	61
4.2.1 Chronologischer Überblick der Ereignisse.....	61
4.2.2 Fazit	71
4.3 Userstatistik der Informationsplattform drought.ch und Analyse der Userfeedback.....	73

4.3.1	Userstatistik	73
4.3.2	Logins	77
4.3.3	Userfeedback.....	79
4.3.4	Fazit	83
4.4	Trockenheitsvorhersagen	85
4.4.1	5-Tages-Vorhersagen	85
4.4.2	Monatsvorhersagen.....	88
4.4.3	Anmerkung zur Auswertung der Trockenheitsvorhersagen	97
5	Diskussion - Synthese der Analysen.....	99
6	Schlussfolgerung.....	105
7	Literatur	107
8	Anhang	115

1 Einleitung

Im Sommer 2015 erlebte die Schweiz eine der extremsten Hitzewellen seit Messbeginn vor über 150 Jahren. In Genf wurde mit 39.7°C die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur registriert (MeteoSchweiz, 2015). Vor allem im Mittelland und in den Voralpen setzte als Folge der hohen Temperaturen und wegen dem ausbleibenden Niederschlag Trockenheit ein. Im November und Dezember wurden schweizweit erneut rekordverdächtig tiefe Niederschlagsmengen gemessen und die Trockenphase hielt damit weiter an (SRF, 2015). Die Folgen dieser Trockenheit machten sich in verschiedenen Bereichen bemerkbar; Wasserentnahmeverbote und Futtermittelknappheit in der Landwirtschaft, für Fische kritische Abflussmengen und Wassertemperaturen, Niedrigwasserstand der Seen, Einschränkungen bei der Rheinschifffahrt und Engpässe bei der Trinkwasserversorgung, um nur einige konkrete Beispiele zu nennen.

In der Vergangenheit wurde die Schweiz häufiger mit Hochwasser als mit Trockenheit konfrontiert (Zappa et al., 2014). Aufgrund der Klimaveränderung muss jedoch mit einer Zunahme von Extremereignissen wie Hitzewellen und Trockenperioden gerechnet werden (Hisdal et al., 2001; Schär et al., 2004; Kingston et al., 2013). Direkt davon betroffen sind die Ökosysteme, aber auch sämtliche Wassernutzungssektoren werden vermehrt mit dem Thema Wasserdefizit konfrontiert und damit zum Handeln aufgefordert. Zur Minderung gesellschaftlicher Vulnerabilität gegenüber Trockenheit und für einen optimalen Umgang mit Wasserdefiziten sind aktuelle Informationen als auch Vorhersagen zu Trockenheit essentiell (Staudinger et al., 2011; Seneviratne et al., 2013; Zappa et al., 2014; Bachmair, 2015a; Jörg-Hess et al., 2015; Şen, 2015). Mit dem Ziel entsprechende Informationen der Öffentlichkeit zur Verfügung zu stellen, wurde im Juni 2013, im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP61 die internetbasierte Informationsplattform drought.ch lanciert. Die Plattform bietet den verschiedenen Wassernutzungssektoren umfassende Informationen zur aktuellen Situation bezüglich Trockenheit und Niedrigwasser in der Schweiz und stellt zudem Trockenheitsprognosen für die kommenden Tage zur Verfügung (Seneviratne et al., 2013; Stähli et al., 2013). Ein Grossteil der täglichen Messdaten, welche als Grundlage der Darstellungen auf drought.ch dienen, werden durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) und die MeteoSchweiz bereit gestellt. Die Informationsplattform wird durch die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) betrieben.

Im Schlussbericht des NFP61 Projekts DROUGHT-CH (Bernhard & Zappa, 2015) wurden Eigenschaften und Vorteile, als auch Verbesserungspotentiale der Informationsplattform drought.ch erstmals festgehalten. drought.ch ist nach wie vor als Prototyp einer Trockenheitsinformationsplattform zu betrachten. Im Zusammenhang mit drought.ch

steht die aktuelle Forschung zu Trockenheit und Trockenheitsvorhersagen in der Schweiz, welche es ermöglicht laufend Anpassungen der Informationsplattform vorzunehmen. Mit der Hitzewelle des Sommers 2015 und der damit verbundenen Trockenheit, wurde die Plattform erstmals auf die Probe gestellt. Die Periode von Juli bis Dezember 2015 eignet sich somit besonders, um Leistung, Potentiale sowie den gesellschaftlichen Beitrag einer internetbasierten Informationsplattform wie drought.ch herauszuarbeiten und zu diskutieren. Im Zentrum dieser Arbeit steht die Analyse der zweiten Jahreshälfte 2015 aus Sicht der Informationsplattform. Die Untersuchung orientiert sich an folgenden Forschungsfragen:

1. Wie war die räumliche Verteilung der eingetretenen Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der verschiedenen Parameter (Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte, Seen und Speicher, Schnee)?
2. Was resultiert aus dem Vergleich der Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage mit den Trockenheitsstufen den oben beschriebenen Parameter?
3. Wie wurden die Hitzewelle und Trockenperioden des Jahres 2015 von den Medien dargestellt?
4. Wie häufig und wann wurde die Informationsplattform von welchen User (Privatperson, Behörde, Landwirtschaft, etc.) besucht? Und: welche Verbesserungsvorschläge ergeben sich aus diesen Untersuchungen und aus den Userfeedback?
5. Wie plausibel sind die Trockenheitsvorhersagen, welche im Sommer 2015 auf drought.ch publiziert wurden?
6. Was resultiert aus den Auswertungen der Nachberechnungen der Monatsvorhersagen?

Ziel dieser Arbeit ist es, durch die explorative Herangehensweise die Plausibilität der Informationen und Vorhersagen zu Trockenheit, welche auf der Informationsplattform drought.ch veröffentlicht werden, zu beleuchten. Zudem wird aufgezeigt, wie räumliche Eigenschaften und Prozesse im Zusammenhang mit Trockenheit auf drought.ch wiedergegeben werden. Anhand eines Synthesebericht wird gezeigt, inwiefern Hitzewellen und Trockenheit in den Medien repräsentiert werden und welche Ereignisse dabei publiziert werden. Weiter wird aufgezeigt, wer die Plattform aus welchen Interessen konsultiert hatte, um entsprechende Optimierungsvorschläge für drought.ch zu formulieren. Mit der Analyse der 5-Tages-Vorhersagen wird abgeschätzt, wie plausibel die publizierten kurzfristigen Trockenheitsvorhersagen waren. Ein weiteres Ziel ist die Einschätzung der Verwendbarkeit der Monatsvorhersagen, womit eine Entscheidungsgrundlage bezüglich der Freischaltung dieser Informationen geschaffen werden soll. Anhand der Analyse der

nachberechneten Monatsvorhersagen wird aufgezeigt, wie früh eine anhaltende Trockenperiode wie jene vom Herbst 2015 erkannt werden könnte.

Die vorliegende Arbeit umfasst eine ausführliche Analyse der Trockenheitsereignisse der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Schweiz und der Informationsplattform drought.ch, womit die dabei gewonnen Erkenntnisse der Weiterentwicklung der Informationsplattform dienen sollen.

2 Hintergrund

2.1 Trockenheit

2.1.1 Definition

Im Laufe der Zeit haben sich unterschiedliche Definitionen von Trockenheit¹ durchgesetzt. Abhängig des Interessensgebietes und je nach untersuchten Grössen und Prozessen wird Trockenheit unterschiedlich definiert (Mishra & Singh, 2010). Jüngste Publikationen beziehen sich unter anderem auf die Definitionen von Tallaksen und Van Lanen (2004), Mishra und Singh (2010), Vogt et al. (2011) und Van Loon (2015; Heim Jr, 2015; Kingston et al., 2015; Van Loon, 2015; Barker et al., 2016; Spinoni et al., 2016; Van Lanen et al., 2016).

Demzufolge ist Trockenheit eine anhaltende und wiederkehrende Naturgefahr, welche aus dem komplexen Zusammenspiel unterschiedlicher Parameter resultiert und sich auf ökologische und sozioökonomische Systeme auswirkt (z.B. Mishra & Singh, 2010; Van Loon & Van Lanen, 2012; Kingston et al., 2015; Van Loon, 2015; Spinoni et al., 2016; Van Lanen et al., 2016). Trockenheit kann in allen Klimazonen auftreten und bedeutet für die betroffene Region ein (signifikant) unterdurchschnittliches Wasserdargebot während einer bestimmten Zeit (Tallaksen & Van Lanen, 2004; Nalbantis & Tsakiris, 2009; Mishra & Singh, 2010). Das mit der Trockenheit verbundene Wasserdefizit wirkt nach und nach im gesamten hydrologischen Kreislauf (Van Loon, 2015; Spinoni et al., 2016). Trockenheit kann je nach Verlauf und Ausprägung in unterschiedliche Trockenheitsarten eingeteilt werden. Im Allgemeinen werden vier Kategorien unterschieden (Abbildung 1; Wilhite & Glantz, 1985; Van Loon, 2015).

- Eine meteorologische Trockenheit resultiert aus einem Niederschlagsdefizit und kann unter Umständen auch verstärkte Evaporation aufweisen (Smakhtin & Hughes, 2007; Van Loon 2015).
- Landwirtschaftliche Trockenheit oder Bodentrockenheit (Engl.: soil moisture drought) bedeutet ein Bodenfeuchtedefizit und damit verbunden eine reduzierte Menge an Pflanzenverfügbarem Wasser, was sich direkt auf die Vegetation auswirkt (Mishra & Singh, 2011; Van Loon, 2015). Aufgrund der Landoberflächen-Atmosphäreninteraktionen kann Bodentrockenheit eine Hitzewelle verstärken (Mül-

¹ Im Rahmen dieser Arbeit werden Trockenheit, Trockenperiode und Trockenphase, sowie Trockenheitsereignis als Synonym verwendet. Eine Trockenheit kann als Phase definiert werden, welche dann beginnt, wenn ein Parameter unter einen definierten Grenzwert fällt und wieder endet, sobald der Kennwert den Schwellenwert übersteigt (Spinoni et al., 2016). An dieser Definition wird auch bei den Analysen in dieser Arbeit festgehalten.

ler & Seneviratne, 2012), was sich wiederum auf den Verlauf einer Trockenheit auswirkt.

- Hydrologische Trockenheit zeigt sich als negative Anomalie der Gewässer. Der Begriff umfasst damit Defizite der Grundwasserstände und des Abflusses, tiefe Seepiegel sowie den Rückgang von Feuchtgebieten (Van Loon, 2015). Je nach Interaktionen von Einzugsgebietseigenschaften, Niederschlag und Temperatur können unterschiedliche Typen hydrologischer Trockenheit unterschieden werden. Laut Van Loon und Van Lanen (2012) sind dies: (i) classical rainfall deficit drought, (ii) rain-to-snow-season drought, (iii) wet-to-dry-season drought, (iv) cold snow season drought, (v) warm snow season drought, und (vi) composite drought.
- Sozioökonomische Trockenheit bezieht sich auf die Auswirkungen der verschiedenen Trockenheitsarten (Van Loon, 2015) und tritt dann ein, wenn die Nachfrage nach Wasser sämtlicher Wassernutzungssektoren nicht gedeckt werden kann (Mishra & Singh, 2010). Eine sozioökonomische Trockenheit resultiert demnach aus dem Zusammenspiel von meteorologischer, landwirtschaftlicher und hydrologischer Trockenheit und der Nachfrage nach Wasser. Diese wiederum hängt von weiteren Faktoren wie wachsender Bevölkerung und Prokopfverbrauch ab (Wilhite, 2000).

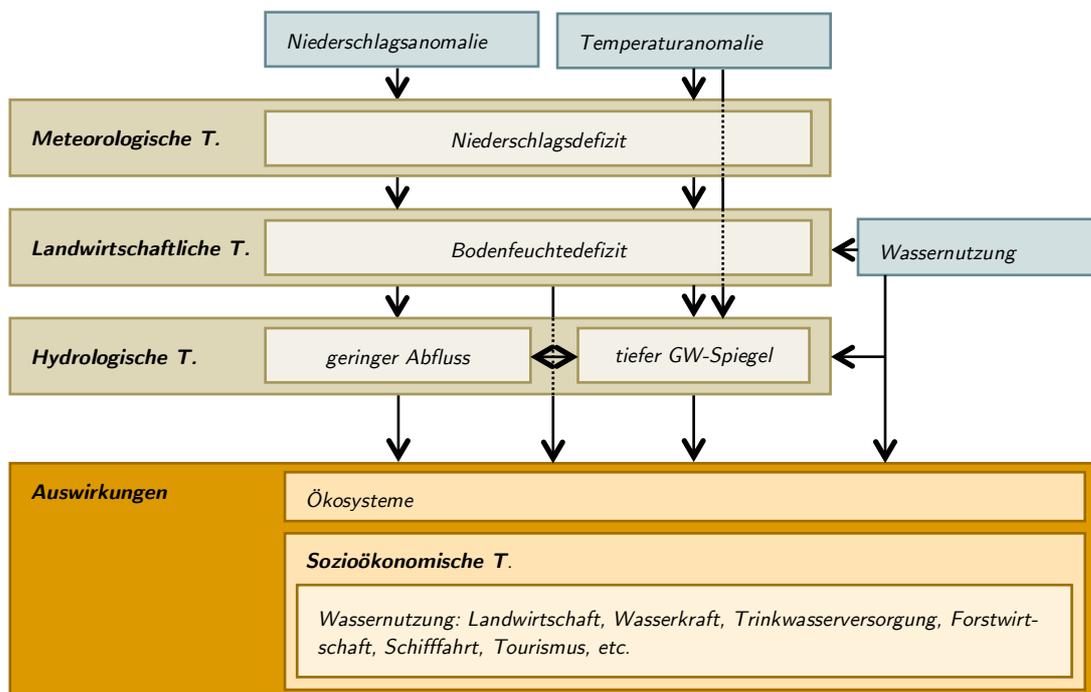


Abbildung 1: Kategorien von Trockenheit (Verändert nach Van Loon, 2015).

Trockenheit kann als Folge der Wassernutzung durch den Menschen oder aufgrund von Niederschlagsanomalien eintreten oder auch durch die Kombination dieser beiden Faktoren induziert werden (Van Loon et al., 2016). Eine meteorologisch bedingte Trockenperiode beginnt mit einem anhaltenden Niederschlagsdefizit (Van Lanen, 2006; Şen, 2015).

Durch den mangelnden Niederschlag gelangt weniger Wasser in den hydrologischen Kreislauf was weiter zu landwirtschaftlicher und schliesslich zu hydrologischer Trockenheit führen kann (Van Lanen, 2006; Van Loon et al., 2012; Van Loon, 2015). Die Bodenfeuchte nimmt aufgrund erhöhter Evaporation und Evapotranspiration, sowie reduziertem Oberflächenabfluss und geringerer Infiltration und Perkolations ab (Wilhite, 2000; Van Loon, 2015). Hiermit gelangt auch weniger Wasser in den Grundwasserleiter und der Grundwasserspiegel sinkt (Van Loon, 2015). Grundwasserspeicher reagieren verzögert und erholen sich auch nur langsam von einer Trockenheit (Peters et al., 2003). Ein tieferer Grundwasserspiegel bedingt einen reduzierten Basisabfluss. Kombiniert mit einem geringeren Zwischenabfluss (Interflow) führt dies zu einem geringeren Abfluss in Flüssen. Während einer Trockenheit ist der Abfluss zudem bereits aufgrund des Niederschlagsdefizits und dem damit verbundenen geringeren Oberflächenabfluss reduziert (Van Loon, 2015). Für stehende Gewässer bedeutet dies schliesslich einen verringerten Zufluss, so dass auch deren Pegel sinken (Wilhite, 2000).

Wie sich die räumliche und zeitliche Ausdehnung einer Trockenheit entwickelt, hängt stark von den meteorologischen Bedingungen und den Eigenschaften eines Einzugsgebiets ab (Van Lanen et al., 2004; Van Loon, 2015). Insbesondere auf regionaler Skala beeinflussen unter anderem Geologie, Bodentyp, Vegetation, Landnutzung und Höhenlage den Verlauf einer Trockenheit (Van Loon & Laaha, 2015). Die Dauer einer Trockenheit hängt von der Art einer Trockenperiode ab und der Reaktion der Komponenten des hydrologischen Kreislaufs auf das Wasserdefizit (Tallaksen et al., 2009; Van Loon, 2015). Wenn Wasserspeicher wie Grundwasser und Seen von der Trockenheit betroffen sind, dauert ein Ereignis länger (4 bis 5 Monate), während eine meteorologische Trockenheit eine kürzere Dauer (1 bis 2 Monate) aufweist (Tallaksen et al., 2009). Die räumliche Ausdehnung einer Trockenheit reicht von einem einzelnen Hang in einem Einzugsgebiet bis zur kontinentalen Ebene (Van Loon, 2015). Während eine meteorologische Trockenheit ein gesamtes Einzugsgebiet betrifft, wirkt eine landwirtschaftliche oder hydrologische Trockenheit auch lokal (Tallaksen et al., 2009). Van Loon (2015) fasst die räumlich-zeitlichen Merkmale einer Trockenheit wie folgt zusammen:

- Vereinigung (Engl. Pooling): mehrere aufeinanderfolgende meteorologische Trockenheitsereignisse können in einer hydrologischen Trockenheit resultieren.
- Abschwächung (Engl. Attenuation): eine meteorologische Trockenheit wirkt in den Wasserspeichern in abgeschwächter Form.
- Verzögerung (Engl. Lag): landwirtschaftliche und hydrologische Trockenheit treten nach einer meteorologischen Trockenheit verzögert auf.
- Verlängerung (Engl. Lengthening): eine Trockenheit dauert länger, wenn sie sich von einer meteorologischen Trockenheit über eine landwirtschaftliche zur hydrologischen Trockenheit entwickelt.

Im Gegensatz zu anderen Naturgefahren entwickelt sich eine Trockenheit sehr langsam, weshalb die Dimensionen eines Trockenheitsereignisses häufig grösser sind (Tallaksen et al., 2015). Weil sich eine Trockenheit geradezu «schleichend» ausbreitet (Seneviratne et al., 2013) und die Folgen teils erst mit grosser Verzögerung (nach mehreren Monaten) erkennbar werden, wird die Gefahr einer Trockenheit häufig unterschätzt (Lackstrom et al., 2013; Şen, 2015; Stahl et al., 2016). Untersuchungen zeigten, dass die Auswirkungen von Trockenheitsereignissen mit hohen Kosten verbunden sind und Trockenheit damit zu den kostenintensivsten wetterbedingten Naturgefahren gezählt werden kann (Wilhite, 2000; Spinoni et al., 2016; Van Lanen et al., 2016). Eine Trockenheit betrifft das gesamte Ökosystem und sämtliche Wassernutzungssektoren (Seneviratne et al., 2013; Van Loon, 2015). Die Auswirkungen einer Trockenheit sind je nach Zeitpunkt (Jahreszeit), Dauer, Intensität und räumlicher Ausbreitung eines Ereignisses sehr unterschiedlich (Van Loon et al., 2010; Bachmair et al., 2015b) und resultieren meistens aus einer landwirtschaftlichen oder hydrologischen, kaum aber direkt aus einer meteorologischen Trockenheit (Van Lanen et al., 2016). Um nur einige konkrete Beispiele der Folgen einer Trockenheit zu nennen: Ernteaufschläge, Engpässe in der Wasserversorgung, zunehmende Mortalität von Wasserlebewesen, reduzierte Stromproduktion bei Wasserkraftwerken und Atomkraftwerken (Mangel an Kühlwasser), Probleme bei der Flussschifffahrt und verschlechterte Wasserqualität (Lackstrom et al., 2013; Seneviratne et al., 2013; Bachmair et al., 2015b).

Mit Trockenheit verwandte und häufig auch zeitgleich auftretende Phänomene sind Niedrigwasserabfluss, Aridität, Wasserknappheit, Dürre, Hitzewellen und Waldbrände, welche jedoch differenziert betrachtet und nicht mit Trockenheit verwechselt werden dürfen (Van Loon, 2015). Niedrigwasserabfluss wird oft relativ zum jährlichen Abfluss bestimmt, welcher aber nicht zwingend mit einer Trockenheit einhergehen muss (Smakhtin, 2001). Aridität bezeichnet eine Charakteristik trockener Klimaregionen und ist somit, im Gegensatz zu Trockenheit, ein relativ konstanter Zustand (Mishra & Singh, 2010). Wasserknappheit bedeutet ein Ungleichgewicht von Wassernachfrage und Verfügbarkeit und wird ganz oder teilweise durch menschliche Aktivitäten verursacht (Seneviratne et al., 2012). Desertifikation und damit verbundene Landdegradation kommen insbesondere in ariden Klimaregionen vor und resultiert unter anderem aus der extensiven Landnutzung (Kassas, 1987). Von einer Hitzewelle ist die Rede, wenn während mehreren Tagen sehr hohe Temperaturen herrschen (Schär & Fischer, 2008). Waldbrände werden meistens durch den Menschen verursacht und können während einer Trockenheit häufiger auftreten (Bowman et al., 2011; Gudmundsson, et al. 2014).

2.1.2 Trockenheitsindizes

Aufgrund der Persistenz von Trockenheit ist es im Gegensatz zu anderen Naturgefahren schwieriger, Beginn und Ende einer Trockenheit zu erkennen (Barker et al., 2016). Ein angemessener Umgang mit Trockenheit, das heisst die Erkennung und Prognose von Trockenheit, erfordert jedoch eine quantitative Erfassung der Ereignisse (Şen, 2015; Van Loon, 2015). Um Grössen wie Zeitpunkt, Dauer, räumliche Ausdehnung, Intensität, Magnitude und Wahrscheinlichkeit des Wiedereintretens einer Trockenperiode analysieren zu können, wurden bereits verschiedene Trockenheitsindizes entwickelt (Yevjevich, 1967; McKee et al., 1993; Van Loon, 2015; Barker et al., 2016). Die Komplexität als auch die Relevanz von Trockenheitsereignissen führte dazu, dass schon über 100 Trockenheitsindizes beschrieben wurden (Lloyd-Hughes, 2014). Im Weiteren werden nur die am häufigsten verwendeten (Mishra & Singh, 2010; Van Loon, 2015) oder im Rahmen dieser Arbeit relevanten Trockenheitsindizes aufgeführt.

Der Standardisierte Niederschlagsindex (**SPI**; McKee et al., 1993) ist einer der am häufigsten verwendeten Trockenheitsindizes (Barker et al., 2016). Zugleich dient der SPI als Basis vieler weiterer standardisierter Trockenheitsindizes, welche alle die Anomalie einer Situation in standardisierter Weise wiedergeben (Van Loon, 2015). Der SPI basiert einzig auf den Niederschlagsdaten. Zur Bestimmung des Indexes wird die Niederschlagssumme einer bestimmten Region während einer definierten Zeit mit dem langjährigen Mittelwert der Niederschlagssummen derselben Region verglichen (Bachmair et al., 2015a). Die gemessenen oder modellierten Niederschlagssummen werden dabei auf den zu erwartenden klimatologischen Wert normiert (Van Loon, 2015; Drought-CH, 2016). Negative Werte des SPI deuten auf Trockenheit hin, während positive Werte auf feuchte Bedingungen hinweisen (Zargar, et al. 2011). Mit dem SPI kann zudem die relative Intensität und Wahrscheinlichkeit einer meteorologischen Trockenheit abgeschätzt werden (Van Loon, 2015; Barker et al., 2016). Der SPI kann auf unterschiedlichen räumlichen und zeitlichen Skalen verwendet werden und erlaubt dank der Standardisierung einen Vergleich der Trockenheitswerte (Lloyd-Hughes & Saunders, 2002; Van Loon, 2015). Eine erweiterte Form des SPI ist der standardisierte Niederschlags- und Evapotranspirations-Index (**SPEI**; Vicente-Serrano et al., 2010), welcher neben der Niederschlagssumme auch die Evapotranspiration berücksichtigt (Barker et al., 2016). Ein weiterer standardisierter Trockenheitsindex ist der **SMRI** (Standardisierter Schneeschmelze und Regen Index; Staudinger et al., 2014). Auch dieser basiert auf dem SPI, berücksichtigt jedoch zusätzlich die Auswirkung von Schneeakkumulation und Schneeschmelze. Damit eignet sich dieser Index insbesondere für Regionen, in denen Schneeschmelze und Regenereignisse zusammenfallen (Staudinger et al., 2014). Ein besonders in den USA verbreiteter Trockenheitsindex ist der Palmer drought severity index (**PDSI**; Palmer, 1965; Zargar et al., 2011). Der PDSI berücksichtigt mehrere Faktoren, welche den Verlauf einer Trockenheit

beeinflussen können, unter anderem: Niederschlag, Bodenfeuchte, Abfluss und Evaporation (Ma et al., 2014). Der PDSI kann zur Beurteilung von Bodentrockenheit verwendet werden. Beispiele für standardisierte Indizes zur Erfassung hydrologischer Trockenheit sind der **SRI** (Standardized Runoff Index), **SSI** (Standardized Streamflow Index) und **SGI** (Standardized Groundwater level Index; siehe auch Van Loon, 2015).

Zur Erfassung und Vorhersage landwirtschaftlicher Trockenheit dient auch der generische Index **ARID** (Agricultural Reference Index for Drought; Woli et al., 2012), womit Wasserstress, welcher sich auf das Wachstum und weitere physiologische Prozesse der Pflanzen auswirkt, quantifiziert wird (Woli et al., 2014). Der ARID entspricht der Differenz von 1 und dem Verhältnis der Transpiration zur Evapotranspiration ($ARID = 0$; kein und $ARID = 1$; maximaler Wasserstress für die Vegetation; Woli et al., 2014). Die MeteoSCHWEIZ berechnet den **Bodenfeuchte-Index** mittels täglichen Niederschlags-, Temperatur-, Strahlungs-, Feuchte- und Windmessungen und kann die prozentuale Abweichung der Bodenfeuchte vom permanenten Welkepunkt angeben. Als Referenzboden dient ein Grasland mit mittleren Bodeneigenschaften (Drought-CH, 2016).

Der **Nesterov Index** ist kein Trockenheitsindex, sondern dient der Abschätzung der Waldbrandgefahr. Zur Berechnung des Nesterov Index werden die Temperatur und die Taupunkttemperatur seit dem letzten Tagesniederschlag von mehr als 3 mm berücksichtigt (Weibel et al., 2010; Eastaugh et al., 2012).

Trockenheitsindikatoren sind ein elementarer Bestandteil der Beobachtung, Erfassung und Früherkennung von Trockenheit (Bachmair et al., 2015a). Da ein einziger Indikator meistens nicht ausreichend ist, um verschiedene Arten von Trockenheit zu erfassen, werden häufig mehrere Trockenheitsindizes kombiniert angewendet (Bachmair et al., 2015b). Um Auswirkungen einer Trockenheit möglichst gut abschätzen zu können, müssen die zu verwendenden Trockenheitsindizes nach Region, Bereich der Auswirkungen und unter Umständen auch nach Jahreszeit ausgewählt werden (Bachmair et al., 2015b). Eine Herangehensweise, um Trockenheitsereignisse auch quantitativ zu erfassen, stellt die Schwellenwert-Methode dar («**Threshold Level Method**»; Yevjevich 1967; Van Loon & Van Lanen, 2012). Dabei wird Trockenheit anhand einer beobachteten oder modellierten hydrometeorologischen Grösse und einem vordefinierten Grenzwert bestimmt. Solange der untersuchte Parameter unter dem Schwellenwert liegt, wird von einer Trockenheit gesprochen (Van Loon et al., 2010; Van Loon 2015). Mittels Schwellenwert-Methode kann der Zeitpunkt, die Dauer, das Defizit und die Magnitude eines Ereignisses bestimmt werden (Fleig et al., 2006; Jörg-Hess et al., 2015). Das Defizit entspricht der kumulativen Differenz zwischen Schwellenwert und gemessenem oder modelliertem Wert des Parameters (Fundel et al., 2013).

2.1.3 Modellierung und Vorhersage von Trockenheit

In der Hydrologie spielt das Modellieren von hydrologischen Prozessen eine zentrale Rolle, so dass die Anwendung und Entwicklung hydrologischer Modelle eine weitverbreitete Forschungsstrategie darstellen (Rosbjerg & Madsen, 2005; Solomatine & Wegener, 2011; Seibert & Vis, 2012). Hydrologische Modelle dienen nicht nur der Simulation von Prozessen und der damit verbundenen Verständniserweiterung, sondern auch der Berechnung von Vorhersagen und Szenarien, welche es schliesslich erlauben, aussergewöhnliche Situationen wie Hochwasser und Trockenheit frühzeitig zu erkennen (Beven & Young, 2013). Für ein optimiertes Risikomanagement im Bereich Trockenheit und zur Minderung der gesellschaftlichen Vulnerabilität gegenüber Trockenheitsereignissen, sind deren Vorhersagen von zentraler Bedeutung (Staudinger et al., 2011; Bachmair, 2015a; Jörg-Hess et al., 2015; Şen, 2015). Insbesondere die Entscheidungsträger sind auf adäquate Trockenheitsvorhersagen angewiesen, um eine bestmögliche Strategie zur Bewältigung einer Trockenheit angehen zu können (Sawada et al., 2014).

Im Bereich des hydrologischen Modellierens werden einfache statistische Modelle mit wenigen Parametern, konzeptuelle Modelle mit variierendem Komplexitätsgrad bis hin zu komplexen, physikalisch basierten Modelle verwendet (Van Loon, 2015; siehe auch: Rosbjerg & Madsen, 2005; Solomatine & Wegener, 2011). Zur Modellierung von hydrologischer Trockenheit wurden bisher vorwiegend konzeptionelle hydrologische Modelle, insbesondere Niederschlag-Abfluss-Modelle, verwendet (Van Loon, 2015; siehe auch: Beven, 2012). Dessen Problematik ist, dass diese hydrologischen Modelle meistens darauf abzielen, die Abflussspitzen möglichst exakt zu simulieren und die Niedrigabflüsse dabei nur ungenau reproduziert werden (Staudinger et al., 2011; Van Loon, 2015). Aus diesem Grund werden zur Modellierung von Trockenheit häufig abgeänderte und weiterentwickelte konzeptionelle hydrologische Modelle verwendet (Van Loon, 2015). Zum Beispiel verwendeten Van Loon et al. (2010) das kombiniert mit der Schwellenwert-Methode halbverteilte hydrologische Modell HBV-light (Seibert, 2005), um Trockenheit zu modellieren. Die Komplexität von Trockenheitsereignissen erschwert ein adäquates Beobachten und Vorhersagen von Trockenheit (Heim Jr., 2015), auch angepasste hydrologische Modelle weisen nach wie vor häufig Mängel auf (Van Loon, 2015). Gerade für Regionen mit bedeutenden Wasserspeichervolumina in Grundwasser und Seen, sowie in Form von Schnee und Eis, stellt die Modellierung von Trockenheit eine Herausforderung dar (Van Loon et al., 2012). Die Modellierung der räumlich-zeitlichen Komponenten einer Trockenheit unter sich verändernden klimatischen Bedingungen bedarf weiteren Anstrengungen auf Seiten der Forschenden (Mishra & Singh, 2011).

Ein neuer Ansatz des operationellen hydrologischen Modellierens wurde im Rahmen des Projekts MAP D-PHASE² getestet. Dabei konnte gezeigt werden, dass Hochwasservorhersagen mittels Ensemble-Vorhersage Systemen (EPS), also durch eine Kopplung hydrologischer Modelle mit Wettermodellen, einen Mehrwert erzeugen (Zappa & Vogt, 2007; Zappa et al., 2008, siehe auch Addor et al., 2011). Fundel et al. (2013) verwendeten zur Modellierung von hydrologischer Trockenheit ein entsprechendes hydrologisches EPS. Basierend auf den nachberechneten Vorhersagen des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersage (ECMWF), modellierten Fundel et al. (2013) die hydrologische Trockenheit mit dem räumlich differenzierten hydrologischen Modell PREVAH (Precipitation-Runoff-Evapotranspiration HRU Model; HRU = Hydrological Response Unit). Mit PREVAH können wasserressourcenrelevante Grössen wie Abfluss, Bodenfeuchte, Grundwasser, Schneespeicher und weitere Parameter modelliert werden (Fundel et al., 2013). Als meteorologische Ausgangsgrössen dienen Niederschlag, Temperatur, Windgeschwindigkeit, relative Feuchtigkeit, Globalstrahlung und Sonnenscheindauer (Jörg-Hess et al., 2015). Eine ausführliche Beschreibung zum Modell PREVAH verfassten Viviroli et al. (2009). Hingegen wird die Wirkung der Wassernutzung durch den Menschen in PREVAH nicht berücksichtigt (Jörg-Hess et al., 2015). Jörg-Hess et al. (2015) stellten fest, dass sich dies in ihren Niedrigabflussmodellierungen abzeichnete. Unklar ist auch, wie sich die unterschiedlichen Modellunsicherheiten (strukturelle und numerische Unsicherheiten und Unsicherheiten bezüglich Parameter) auf die Modellierung von Trockenheit auswirken, denn konkrete Untersuchungen hierzu fehlen weitgehend (Van Loon, 2015).

2.2 Trockenheit in der Schweiz

In der Vergangenheit wurde die Schweiz im Vergleich mit anderen hydrologischen Extremen wie Hochwasser, seltener mit Trockenheit konfrontiert (Zappa et al., 2014). Eine historische Analyse zu Trockenheit in der Schweiz zeigt, dass von 1525 bis 1730 Trockenheitsereignisse häufiger auftraten als in den darauffolgenden Jahrhunderten (OcCC, 2000). Während dem 20. Jahrhundert blieb die Schweiz, abgesehen vom «Dürresommer 1947», von vergleichbaren Ereignissen verschont (OcCC, 2000; Seneviratne et al., 2013). Fischer et al. (2007) weisen zudem auf die Trockenheit von 1976 als bedeutendes Ereignis hin. Im aktuellen Jahrhundert wurden bereits mehrere Trockenperioden registriert. Die Trockenheit im Sommer 2003 gilt für Zentraleuropa als längste und Intensivste Trockenperiode der letzten 60 Jahre (Spinoni et al., 2016). Der «Hitzesommer 2003» ging auch in der Schweiz als aussergewöhnlich trocken in die Klimageschichte ein (ProClim, 2005).

² = Mesoscale Alpine Programme Demonstration of Probabilistic Hydrological and Atmospheric Simulation of Flood Events. In Zappa et al. (2008) wird das Projekt vorgestellt.

³ Sämtliche meteorologischen Informationen stammen von der offiziellen Internetseite der MeteoSchweiz. Die Übersichtskarten der meteorologischen Daten befinden sich im Anhang

Weitere Trockenperioden ereigneten sich in der Schweiz im Sommer 2009, im Frühling 2011 (Seneviratne et al., 2013) und in der zweiten Jahreshälfte 2015.

Die Klimaveränderung bedeutet neben einem Anstieg der durchschnittlichen Temperaturen auch für die Schweiz eine höhere Variabilität von Extremereignissen (Schär et al., 2004; Seneviratne et al., 2012). Diese Veränderungen führen gekoppelt mit der Intensivierung des hydrologischen Kreislaufs und den anthropogen bedingten Einflüssen auf den Wasserkreislauf und auf die Umwelt im allgemeinen, zu häufiger auftretenden Wasserdéfiziten (Hisdal et al., 2001; Kingston et al., 2013). Die extremen Bedingungen des Sommers 2003 in der Schweiz konnten als Resultat der erhöhten Variabilität von Extremereignissen erklärt werden (Schär et al., 2004). Der «Hitzesommer 2003» gilt als Ereignis, welches insbesondere in der zweiten Hälfte des 21. Jahrhunderts häufiger vorkommen wird (Beniston, 2004; Schär et al., 2004), womit auch die Schweiz künftig vermehrt mit Trockenheitsperioden konfrontiert wird.

2.3 Informationsplattform drought.ch

Im Juni 2013 wurde im Rahmen des Nationalen Forschungsprogramms NFP61 die internetbasierte Informationsplattform drought.ch lanciert. Die Plattform bietet den verschiedenen Wassernutzungssektoren umfassende Informationen zur aktuellen Situation bezüglich Trockenheit und Niedrigwasser in der Schweiz und stellt zudem Trockenheitsprognosen für die kommenden Tage zur Verfügung (Seneviratne et al., 2013; Stähli et al., 2013). Ein Grossteil der täglichen Daten werden durch das BAFU und die MeteoSchweiz bereitgestellt. Die Datenaufbereitung und der operationelle Betrieb der Informationsplattform erfolgt durch die WSL.

Das Ziel der Plattform ist, allen interessierten User Informationen über aktuelle und bevorstehende Trockenheit in der Schweiz zu liefern. Damit wird ermöglicht, dass betroffene Sektoren frühzeitig Massnahmen ergreifen können. Hydro-meteorologische Echtzeitdaten bereits existierender Messnetze werden bezüglich hydrologischer Trockenheit aufbereitet und dargestellt. Ergänzend werden Vorhersagen, welche darauf hinweisen, wie sich eine Situation in den nächsten fünf Tagen entwickeln wird, veröffentlicht. Die Plattform ist forschungsbasiert, soll aber gleichzeitig auch für jedermann verständlich sein. drought.ch ist keine Warnplattform, sondern liefert den User lediglich Informationen zur aktuellen und bevorstehenden Trockenheitssituation (Bernhard & Zappa, 2015). Die Informationsplattform drought.ch ist nach wie vor ein Prototyp. Laufend werden auf Erkenntnissen der Forschung basierend Veränderungen und Anpassungen der Informationsplattform umgesetzt.

2.3.1 Aufbau und Inhalte von drought.ch

Auf der Startseite von drought.ch wird die Übersichtskarte zur aktuellen allgemeinen Lage betreffend Trockenheit dargestellt und Neuigkeiten zum Thema Trockenheit aufgelistet. Um zu weiteren Übersichtskarten und Informationen zu gelangen, müssen sich Personen, welche sich erstmals anmelden wollen, registrieren. Bereits registrierte User gelangen mittels Login zu den weiteren Informationen. (Seit September 2016 kann ohne Login auf die erweiterten Trockenheitsinformationen zugegriffen werden)

drought.ch ist in zwei Hauptansichten gegliedert, welche (1) Informationen zur aktuellen Situation (als «Allgemeine Lage» auf drought.ch) und (2) zu den 5-Tages-Prognosen enthalten (Abbildung 2). Die Trockenheitsinformationen werden grundsätzlich auf drei Ebenen präsentiert: (i) Allgemeine Lage, (ii) einzelne Kenngrößen und (iii) verwendete Daten (Zappa et al., 2014). Neben den Kenngrößen Niederschlag, Abfluss, Bodenfeuchte, Grundwasser und Schnee, welche für beide Ansichten verfügbar sind, werden bei der aktuellen Situation zusätzlich Informationen zu Trockenheit im Wald, Seen und Speicher und zur Wassertemperatur gezeigt. Eine detaillierte Ansicht der 5-Tages-Vorhersagen sowie eine klimatologische Langzeitprognose wird beispielhaft für die drei Einzugsgebiete Thur, Dischma und Emme publiziert.

Im Zentrum der Informationsplattform stehen die Übersichtskarten. Diese zeigen die relativ zur Klimatologie zugeordneten gemessenen und modellierten Werte als integrierte Grösse pro Region. Für die Angaben zur aktuellen Situation wurde die Schweiz in neun und für die Prognosen in 57 hydrometeorologische Regionen gegliedert (Abbildung 2). Die neun Regionen sind: Jura (J), westliches Mittelland (wM), östliches Mittelland (öM), westliche Voralpen (wV), östliche Voralpen (öV), Wallis (W), Tessin und Misox (T), Nord- und Mittelbünden (NMB) sowie Engadin (E).

Sämtliche typisierten Übersichtskarten zeigen vier Farbstufen, welche keine, leichte, mittlere und grosse Disposition bedeuten. Je nach Parameter werden die Stufen unterschiedlich benannt. Zum Beispiel ist bei der allgemeinen Lage von keiner bis grosser Trockenheit die Rede, während beim Niederschlag kein bis grosses Defizit herrschen kann (Zappa et al., 2014). Die Trockenheitsstufenzuordnung der Allgemeinen Lage setzt sich aus dem Zustand der verschiedenen Kenngrößen zusammen. Wenn zwei oder mehrere Kenngrößen in einer Region auf Trockenheit hinweisen, wird die entsprechende Region eingefärbt. Der Farbton wird je nach Trockenheitsstufe der trockenheitsrelevanten Parameter zugeordnet (Bernhard & Zappa, 2015).

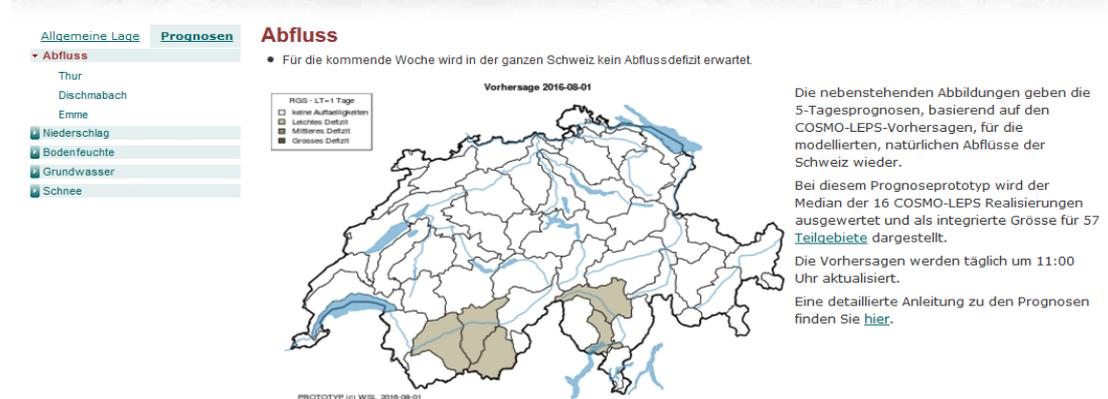
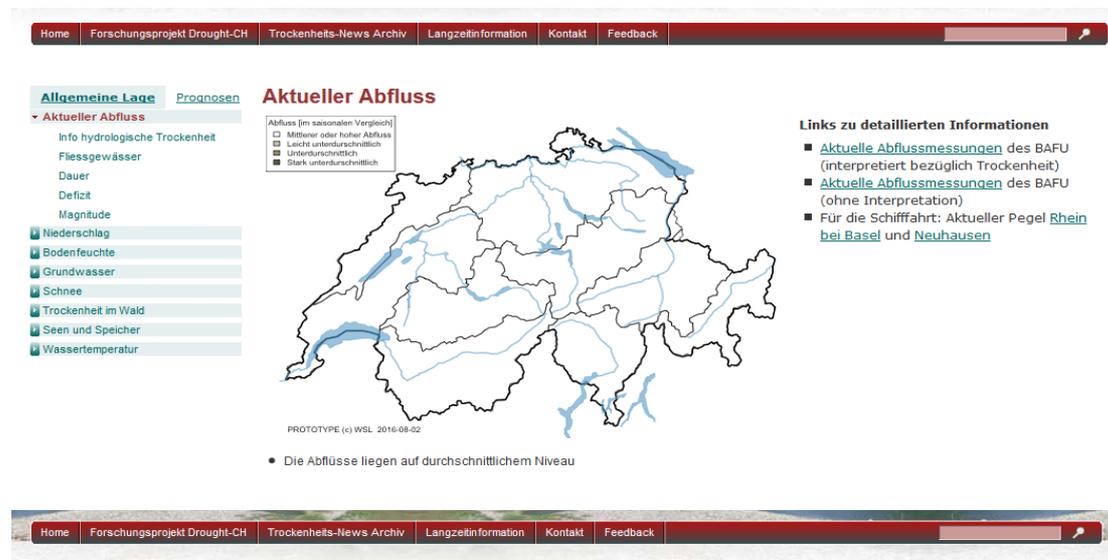


Abbildung 2: Die zwei Hauptansichten mit der unterschiedlichen räumlichen Auflösung der Informationen auf drought.ch am Beispiel für die Aktuelle Situation und Prognosen des Abflusses (Stand: 02.08.2016 Drought-CH 2016).

Zu den verschiedenen Kenngrössen sind teilweise ergänzende Pixelkarten, Hinweise und Links zu verwendeten Daten und andere Informationen verfügbar. Zum Beispiel werden im Abschnitt «Niederschlag» zusätzlich zur aktuellen Übersicht auch Niederschlagssummen und der SPI, SPEI, Bodenfeuchte-Index und ARID, relativ zur Klimatologie, für ausgewählte Messstandorte der MeteoSchweiz dargestellt.

2.3.2 Modellierung und Darstellung

Aus den operationellen Modellierungen mit PREVAH werden Informationen zu den Kenngrössen Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte, Grundwasser und Schnee abgeleitet, bezüglich Trockenheit interpretiert und schliesslich auf drought.ch veröffentlicht. Für die Modellierung wird die gegitterte PREVAH-Version mit einer räumlichen Auflösung von 600 m für die gesamte Schweiz und 200 m bei den Prognosen für die drei Einzugsgebiete Thur, Dischma und Emme verwendet (Zappa et al., 2014). Abhängig von der zeitlichen Dimension werden für die Vorhersagen Inputdaten unterschiedlicher Wettervorhersagemodelle mit einbezogen.

Aktuelle Situation

Die aktuelle Situation der Kenngrößen wird mittels PREVAH auf aktuellen Messwerten basierend simuliert und täglich aktualisiert. (Ausnahme: die Informationen bezüglich Schnee werden einmal wöchentlich und lediglich dann, wenn der operationelle schneehydrologische Dienst des SLF (WSL-Institut für Schnee und Lawinenforschung) entsprechende Übersichtskarten erstellt, generiert)

Mittelfristige Vorhersagen

Die Mittelfristigen Vorhersagen (fünf Tage) basieren auf den hydrologischen Simulationen mittels PREVAH, kombiniert mit den Vorhersagen des Wettergeschehens für die kommenden 120 Stunden, welche dem numerischen Wettermodell COSMO-LEPS (Limited Area Ensemble Prediction System des Cosnortium for Small-scale Modeling; 16 Varianten) entstammen. Die räumliche Auflösung beträgt schliesslich etwa 7 km (Bogner, 2015). Die operationell betriebenen 5-Tages-Vorhersagen werden täglich aktualisiert (Zappa et al., 2014).

Langfristige Vorhersagen

Als meteorologische Inputdaten der langfristigen Trockenheitsvorhersagen (32 Tage) dienen die numerischen Wettervorhersagen ENS (Ensemble Prediction System) des ECMWF (Zappa et al., 2012). Diese umfassen 50 Varianten und einen Kontroll-Lauf (entspricht 51 Members). Die Auflösung während der ersten 10 Tage beträgt 25 km und für den 11. bis 32. Tag 50 km (Bogner, 2015). Die Monatsvorhersagen werden wöchentlich berechnet und werden zur Zeit noch nicht auf drought.ch veröffentlicht.

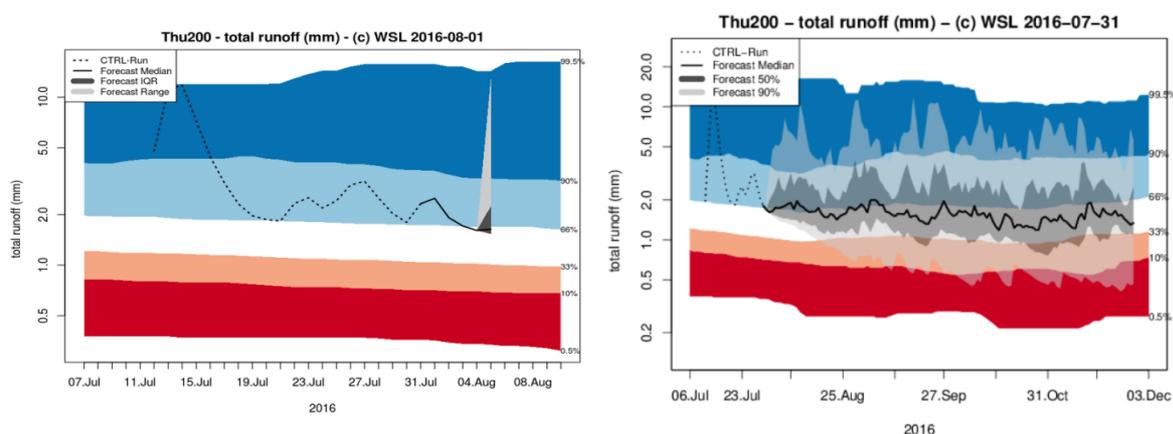


Abbildung 3: 5-Tagesprognose (l.) und klimatologische Vorhersage (r.) für den Abfluss der Thur (Stand: 02.08.2016). Dargestellt werden die Simulation der hydrologischen Grösse (gestrichelte Linie) und die Prognosen (Boxplot), als auch die Klimatologie (1980 -2009; als farbige Flächen im Hintergrund, welche das 0.5, 10, 33, 66, 90 und 99.5 Perzentil zeigen).

Langfristige, klimatologische Vorhersage

Für die langfristigen klimatologischen Vorhersagen über 4 Monate werden auf den aktuellen Beobachtungen und der langjährigen Klimatologie basierend 32 Szenarien für das Wettergeschehen der kommenden 120 Tage bestimmt. Diese fliessen in die Berechnungen von PREVAH, und ermöglichen spezifische Aussagen über die Entwicklung der Wasserressourcen im untersuchten Einzugsgebiet (Abbildung 3; Bernhard & Zappa, 2015).

Zuordnung der Trockenheitsstufen

Das Defizit einer hydrologischen Grösse wird immer relativ zur Klimatologie (1980 – 2009, Niederschlag: 1961 – 2010; Drought-CH, 2016) bestimmt. Wenn die gemessenen oder simulierten hydrologischen Grössen ein bestimmtes Perzentil der Klimatologie unterschreiten, werden automatisch Trockenheitsstufen zugeordnet. Je nachdem wie stark der gemessene oder modellierte Wert von der Klimatologie abweicht, wird dem Wert eine der vier Trockenheitsstufen zugeteilt (keine, leichte, mittlere, grosse Trockenheit). Diese Zuordnung geschieht, wie die Simulationen, auf Gitterbasis. Demnach wird auf drought.ch gezeigt, wie aussergewöhnlich (trocken) die aktuelle oder prognostizierte Situation ist oder sein wird.

Ein Abflussdefizit tritt ein, wenn der Abfluss den Schwellenwert, das 15% Quantil der Klimatologie, unterschreitet (Bernhard & Zappa, 2015). Zur Bestimmung des Niederschlagsdefizit werden die 20-Tages-Summen der vorangehenden Tage verwendet. Abhängig von der Wahrscheinlichkeit, dass die Summe den Wert der Klimatologie nicht übersteigt, entspricht die 20-Tages-Summe keinem, einem leichten oder mittleren Niederschlagsdefizit. Die Stufe «grosses Defizit» wird für den Niederschlag nicht verwendet. Die Trockenheit im Wald wird anhand des Nesterov-Index bestimmt (Drought-CH, 2016).

Bei den 5-Tages-Vorhersagen gilt, wenn weniger als die Hälfte der Ensembleketten auf ein Defizit hinweisen, wird kein Defizit erwartet. Wenn mehr als die Hälfte der Ensembleketten auf ein Defizit zwischen dem 10 und 25% Perzentil hinweisen, entspricht dies einem leichten Defizit. Ein mittleres Defizit gilt, wenn mehr als die Hälfte zwischen dem 2.5 und 10% Perzentil liegen und ein grosses Defizit, wenn mehr als die Hälfte der Ensembleketten tiefer als das 2.5% Perzentil liegen (Drought-CH, 2016).

2.4 Überblick der meteorologischen Situation 2015 in der Schweiz³

Kurz zusammengefasst wurde die Schweiz im Jahr 2015 von einem überdurchschnittlich milden Jahresbeginn, Frühlingsniederschlägen in Rekordhöhen, extremen Hitzewellen im Juli und einem anhaltenden Niederschlagsdefizit Ende Jahr geprägt. Im **Januar** war es mit Temperaturen von 3 bis 6 °C über der Norm⁴ extrem mild. In der zweiten Monatshälfte brachten Nordwest- und Nordströmungen tiefere Temperaturen. Der **Februar** war von unterdurchschnittlichen Temperaturen geprägt und beidseits der Alpen fiel der Schnee bis in tiefe Lagen. Der Winter zeichnete sich insgesamt als sehr mild ab und ging auf der Alpensüdseite und im Engadin als zweitwärmster Winter seit Messbeginn 1864 in die Geschichte ein. Anfang **März** herrschte Hochdruckwetter, worauf jedoch spätwinterliche und teils stürmische Verhältnisse das Monatsende prägten. Der **April** war mild und sonnig und beinahe Niederschlagsfrei. Erst am 25. April fiel verbreitet Regen. Der Frühling endete mit Rekordniederschlägen. Vom 30. April bis am 6. Mai fielen in der Schweiz durchschnittlich 100 mm Regen. Die grössten Niederschlagsmengen gab es im Unterwallis, in den Waadtländer Alpen und im Berner Oberland (Tabelle 1). An mehreren Messstandorten, unter anderem Martigny, Mürren und Adelboden, wurde der Niederschlagsreichste **Mai** seit Messbeginn registriert. Auf der Alpensüdseite und in der Nordwestschweiz war der Frühling mit Niederschlägen von 55 bis 100% der Norm verbreitet eher trocken. In den übrigen Regionen wurden teils überdurchschnittlich hohe Niederschlagssummen von 110 bis 140% registriert. Alles in allem brachten die Frühlingsniederschläge schweizweit, mit Ausnahme der Alpensüdseite, dem darauffolgenden Sommer eine weniger trockene Ausgangslage als dies im Jahr 2003 der Fall war.

Der Sommer 2015 war überdurchschnittlich warm. Die Temperaturen waren im Mittel 2.4 °C höher als normal. Seit Messbeginn, wurden nur im Sommer 2003, mit 3.6 °C über der Norm, jemals höhere mittlere Temperaturen gemessen.

Ende **Juni** konnte, trotz der tiefdruckbestimmten Phase vom 15. bis zum 23.6., welche verbreitet unterdurchschnittliche Tagesmittel-Temperaturen mit sich brachte, ein mittlerer Temperaturüberschuss von 1.8 °C gegenüber der Norm verzeichnet werden. In der Südwestschweiz war dieser mit 2 bis 3 °C leicht höher, als in den restlichen Regionen der Schweiz (1 bis 2 °C). Die Niederschlagsmengen betrug verbreitet 50 bis 95% der Norm. Nur im Mittelland bis Neuenburg und im Oberwallis wurden lokal überdurchschnittliche

³ Sämtliche meteorologischen Informationen stammen von der offiziellen Internetseite der MeteoSchweiz. Die Übersichtskarten der meteorologischen Daten befinden sich im Anhang <http://www.meteoschweiz.admin.ch>, Zugriff zuletzt: 02.08.2016.

⁴ Als Norm, Referenzperiode oder Durchschnitt gelten in diesem Kapitel, wenn nicht anders vermerkt, die gemittelten Werte der langjährigen Messreihe von 1981 – 2010. Entsprechend bezieht sich auch eine Anomalie auf diese Periode.

Niederschlagsmengen von bis zu 250 mm gemessen. Zwischen Winterthur und Bodensee führten die Gewitterniederschläge vom 14.6. zu den hohen Messwerten in dieser Region. Die Sonnenscheindauer im Juni entsprach Schweizweit 100 bis 125% der Norm.

Tabelle 1: Überblick der aussergewöhnlichen meteorologischen Ereignisse und Bedingungen während der zweiten Jahreshälfte in der Schweiz.

Zeitpunkt	Ereignis	Betroffene Region, Intensität
30.4. bis 6.5.	Starkniederschläge mit Überschwemmungen	Schweizweit durchschnittlich 100 mm Regen; Unterwallis, Waadtländer Alpen, Berner Oberland: lokal über 200 mm
14.6.	Gewitterniederschläge mit Überschwemmungen	Lokal in der ganzen Schweiz, v.a. Ostschweiz: Winterthur bis Bodensee, 40 bis 110 mm Regen
1. bis 7.7.	Hitzewelle	ganze Schweiz, Tagesmaximum-Temperaturen zwischen 31 bis 36 °C
17. bis 23.7.	Hitzewelle	ganze Schweiz, v.a. Alpensüdseite, Tagesmaximum-Temperaturen um 34.7 °C
18. bis 24.7.	Gewitter und Starkniederschläge	Lokal in der ganzen Schweiz: Engadin: lokal 150 –200 mm, Berner Oberland: 50 – 60 mm, Wallis: 40 –70 mm Freiburg: ± 31 mm
15. bis 17.9.	Niederschlag	Tessin und Graubünden, regional 200 – 250 mm
Nov. & Dez.	Niederschlagsdefizit	Alpensüdseite, monatliche Niederschlagssummen unter 10 mm

Der **Juli** wurde von einer anhaltenden Schönwetterlage geprägt. Schweizweit könnten mit 42 bis 82% der maximal möglichen Sonnenscheindauer noch mehr Sonnenstunden gezählt werden als im Juni. Auch die Temperaturen überstiegen die Werte noch deutlicher als im Juni: die Monatstemperaturen lagen schweizweit 3 bis 4 °C über der Norm. Der Juli 2015 gilt für die Alpensüdseite, das Engadin, das Wallis und die Westschweiz als heissester Monat seit Messbeginn. In den übrigen Regionen kann der Juli zu den drei wärmsten Monaten der über 150jährigen Aufzeichnungen gezählt werden. Auf der Alpensüdseite wurden 1.6 bis 2.3 °C mehr gemessen, als während der Referenzperiode. Die Niederschlagsmengen blieben schweizweit, ausser im oberen Rhonetal, mit verbreitet weniger als 50% der Norm deutlich unter dem Durchschnitt (Abbildung 4).

Vom 1. bis 7. Juli erlebte die gesamte Schweiz eine der extremsten **Hitzewochen** seit Messbeginn. Im Flachland der Alpennordseite betrug die durchschnittliche Tagesmaximum-Temperatur 33 bis über 36 °C. Am 7.7. wurde in Genf mit 39.7 °C die höchste je auf der Alpennordseite gemessene Temperatur registriert. Eine zweite Hitzewelle ereignete sich vom 17. bis 23.7.. Auf der Alpensüdseite wurden in diesem Zeitraum die höchsten Temperaturen des Sommers 2015 gemessen. Die durchschnittliche Tagesmaximum-Temperatur bei Locarno-Monti betrug 34.7 °C und der höchste gemessene Wert 36.8 °C, was dem dritthöchsten Wert der Messreihe dieser Station entspricht.

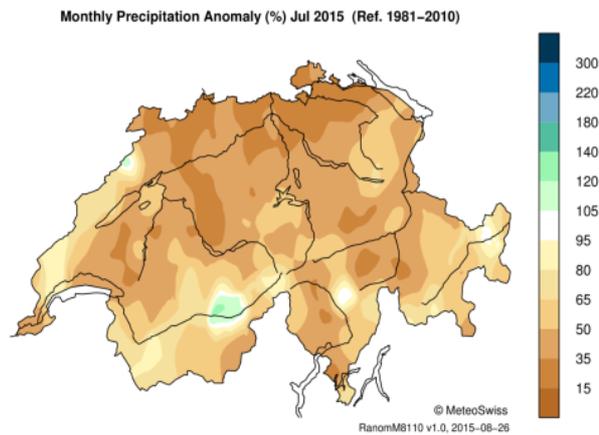


Abbildung 4: Abweichung der monatlichen Niederschlagssumme von der Norm. Im Juli herrschte fast schweizweit ein Niederschlagsdefizit. (MeteoSchweiz 2016)

Im **August** wurden neben den Regionen Bern, Genf, Rhonetal und Tessin (58 bis 66% der maximal möglichen Sonnenscheindauer) vor allem in der Nordostschweiz überdurchschnittlich viele Sonnenstunden und hohe Temperaturen registriert. Entsprechend betrug die Monatsdurchschnittstemperatur im gesamten Mittelland 18 bis 22 °C, was für die Nordostschweiz rund 2 bis 3 °C mehr als normal sind. Insbesondere das Monatsende stand unter Hochdruckeinfluss, so dass erneut Höchsttemperaturen von 31 bis 34 °C gemessen wurden. Im Wallis, Tessin und in den Alpen fielen wieder deutlich mehr Niederschläge als im Juli. Im Oberwallis und Nordtessin gab es doppelt so viel Niederschlag wie normal. In den übrigen Regionen fielen maximal 125 mm, was etwa 80% der Norm entspricht. Im nordöstlichen Mittelland lagen die Niederschlagssummen verbreitet deutlich tiefer unter der Norm.

Anfang **September** sorgten in der Schweiz Nordwest- und Südwestströmungen sowie eine darauffolgende Bisenströmung für tiefere Temperaturen und ersten Schnee in den Bergen. Eine zwischenzeitliche Südwestströmung mit Föhn sorgte Mitte Monat für überdurchschnittlich hohe Septembertemperaturen. Ein ausgeprägtes Tiefdruckgebiet gegen Ende Monat sorgte jedoch erneut für tiefe Temperaturen. Landesweit waren die Temperaturen im Monatsmittel 0.5 bis 2 °C unter der Norm. Die Sonnenscheindauer entsprach verbreitet 26 bis 56% (lokal bis 88%) der maximal möglichen monatlichen Sonnenscheindauer, was leicht unter dem Durchschnitt liegt. Der September war insbesondere für das Tessin ein nasser Monat. Hier wurde eine monatliche Niederschlagssumme von über 400 mm gemessen. Auch in der Ostschweiz und ganz im Westen der Schweiz gab es mit bis zu 200 mm mehr Niederschlag, als in den restlichen Regionen der Schweiz. Die Nordostschweiz blieb, wie bereits im August, die trockenste Region.

Anfang **Oktober** brachten eine West- bis Südwestströmung zusammen mit mehreren Niederschlagszonen auch längere sonnige Abschnitte. Ein Hochdruckgebiet sorgte noch-

mals für viel Sonne, bevor sich Mitte Oktober winterliche Verhältnisse bis in mittlere Lagen verbreiteten. Das hochdruckbestimmte Monatsende sorgte erneut für freundliche Herbsttage. Die Temperaturen blieben auch im Oktober geringer als im langjährigen Durchschnitt, jedoch wichen sie nur 0.5 bis 1.5 °C von der Norm ab. Im Mittelland und Jura wurden 18 bis 42% und in den übrigen Regionen 50 bis 66% der maximal möglichen monatlichen Sonnenscheindauer registriert. Eine entsprechende Verteilung wies auch die Niederschlagsanomalie auf. Im Nordwesten war diese am höchsten (0 – 15% der Norm) und nahm Richtung Tessin und Südostschweiz graduell ab. Die Niederschlagsverteilung war mit derjenigen vom September vergleichbar, nur waren die Messwerte tiefer. Die grösste Niederschlagssumme wurde mit 300 mm wiederum im Tessin erfasst.

Bis Mitte **November** war es aufgrund der anhaltenden Hochdrucklage mit Warmluftzufuhr aus Südwesten und Westen aussergewöhnlich mild. Erst am 21. November sorgte ein kräftiger Polarluftvorstoss für einen Wintereinbruch. Im Monatsmittel wurden in der ganzen Schweiz 2 bis 4 °C, im Nordtessin sogar bis 5 °C, über der Norm gemessen. Insgesamt wurde in der Schweiz der dritt wärmste November seit Messbeginn registriert und lokal wurden Tagesmaximum-Temperaturen verzeichnet. Die relative Sonnenscheindauer nahm gegenüber dem vorangehenden Monat deutlich zu (50 bis lokal 100% der maximal möglichen monatlichen Sonnenscheindauer). Gesamtschweizerisch wurden damit überdurchschnittlich viele Sonnenscheinstunden gezählt, im Mittelland, der Zentralschweiz und bei Genf wurden sogar fast doppelt so viele wie normal registriert. Im Mittelland waren denn auch die Niederschlagsmengen geringer. Wie im Wallis wurden auch hier 25 bis maximal 100 mm gemessen. In der Westschweiz, im Wallis, Berner Oberland und in den Voralpen wurden Niederschlagssummen von 75 bis 200 mm gemessen. Ein deutliches Niederschlagsdefizit zeigte sich in Graubünden und im Tessin. Hier fielen gerade mal 0 bis 50% des langjährigen Mittelwerts.

Im **Dezember** setzte sich die Überdurchschnittliche Sonnenscheindauer schweizweit fort. Verbreitet wurden 125 bis 200 % der Norm gemessen. Entsprechend waren die Niederschläge im Dezember verbreitet ausserordentlich gering (0 – 50 mm; Abbildung 5). Auch im Vergleich mit der Normperiode waren die Werte sehr tief und machten lediglich 0 bis 35% (lokal bis 50%) des Normwertes aus. Die monatliche Durchschnittstemperatur betrug verbreitet 3 bis 6 °C, und lag damit landesweit mit 0.5 bis 6 und lokal bis zu 7 °C deutlich über der Norm. Insbesondere in den Bergen waren die Temperaturen deutlich höher als normal (Abbildung 5).

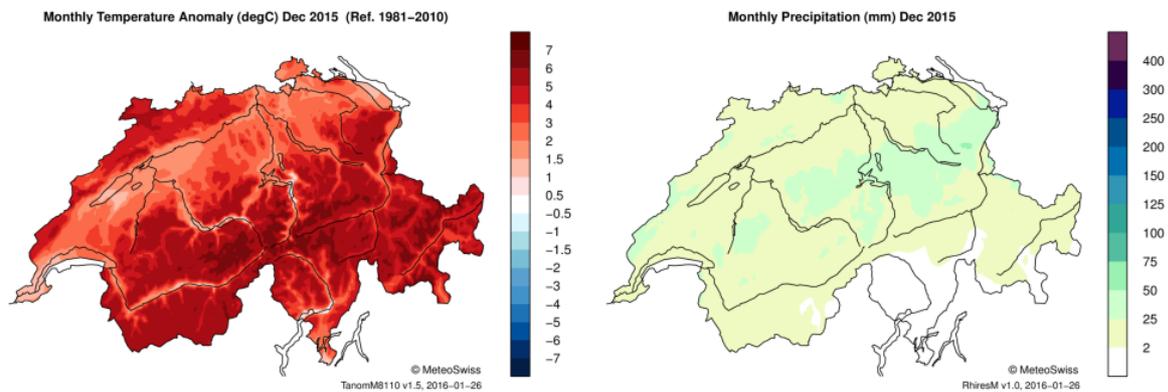


Abbildung 5: Die Niederschlagssummen (l.) und Temperaturanomalien im Dezember 2015(r.). Wenig Regen und aussergewöhnlich hohe Temperaturen prägten das Jahresende (MeteoSchweiz 2016).

3 Daten und Methoden

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Analyse der zweiten Jahreshälfte aus Sicht der Informationsplattform drought.ch. Die Arbeit verfolgt einen explorativen Ansatz, wobei die im Zusammenhang mit drought.ch generierten Daten visualisiert und analysiert, sowie im Kontext dargestellt werden.

3.1 Daten

Die Art und Herkunft der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Daten sind in Tabelle 2 aufgeführt.

Tabelle 2: Übersicht der im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Daten.

Daten/ Inhalt	Format	Quelle
Typisierte Übersichtskarten drought.ch: <ul style="list-style-type: none">- Aktuelle allgemeine Lage (01.01.2015 bis 26.01.2016)- Parameterspezifisch (01.05.2015 bis 31.12.2015)- 5-Tagesvorhersagen (27.05.2015 bis 31.12.2015)- Nachberechnete Monatsvorhersagen (09.04.2015 bis 20.08.2015)	PNG	Archiv drought.ch
Trockenheitsstufen der Parameter Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag der 307 Regionen: <ul style="list-style-type: none">- 5-Tagesvorhersagen (27.05.2015 bis 31.12.2015)- Nachberechnete Monatsvorhersagen (09.04.2015 bis 20.08.2015)	TXT	Archiv drought.ch
Niederschlagsmessungen Tagessummen (5:40 – 5:40 Folgetag) (01.05.2015 bis 01.01.2016)	TXT	MeteoSchweiz, CLIMAP-net
Userstatistik		http://webintra.wsl.ch/awstats/awstats.pl?month=07&year=2016&output=main&config=www.drought.ch&framename=index
Registrierungen und Interessensangaben		http://www.drought.ch/admin/anmeldungen
Statistik zu Logins		http://www.drought.ch/admin/logins
User-Feedback		Feedbackformular: http://www.drought.ch/kontakt/Feedback_Erfolgreich_DE , E-Mail von Plattform-User
Medienbeiträge		Internetrecherche

Typisierte Übersichtskarten

Sämtliche Übersichtskarten liegen als Bilddateien im PNG-Format (Portable Network Graphics) vor, so wie diese jeweils auf drought.ch publiziert werden. Übersichtskarten stehen für die allgemeine Lage, sowie für die Parameter Abfluss, Bodenfeuchte, Niederschlag, Wald, Seen und Speicher sowie Schnee zur Verfügung. Die Trockenheitsinformationen zu den Kenngrössen Grundwasser und Wassertemperatur werden nicht analysiert.

Trockenheitsinformationen

Die Textdateien enthalten die in PREVAH modellierten und anschliessend kategorisierten Daten für 307 Kleinregionen. Entsprechende Textdateien existieren für die 5-Tages- und Monatsvorhersagen der Kenngrössen Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag. Die Monatsvorhersagen wurden auf den numerischen Wettervorhersagen ENS basierend für den Zeitraum von Mai 2012 bis Dezember 2015 wöchentlich nachberechnet (insgesamt 178 Prognosen). Bei der Analyse der Monatsvorhersagen wurden vor allem die Prognosen vom 09.04. bis 20.08.2015 berücksichtigt.

Niederschlagsmessungen

Die Datensätze der Tagesniederschlagssummen wurden für beliebige Zeiträume und ausgewählte Stationen via Datenportal CLIMAP-net als Textdatei direkt aus dem Datenbanksystem der MeteoSchweiz heruntergeladen.

Userstatistik

Die täglich aktualisierte Userstatistik zur Internetseite drought.ch wird mit dem Serviceprogramm AWStats⁵ erfasst. Die Statistik liefert unter anderem Informationen zur Anzahl Besuche, User und Zugriffe, zur Aufenthaltsdauer und zu weiteren Grössen. Die Userstatistik kann jederzeit und für beliebige Zeiträume abgerufen werden. Die Registrationen werden laufend auf einer webbasierten Administrationsseite gespeichert. Die getätigten Logins werden ebenfalls automatisch erfasst.

Userfeedback

Die Userfeedback stammen von verschiedenen Umfragen, bei welchen die User das Feedbackformular von drought.ch ausgefüllt, oder sich in einer E-Mail direkt zur Informationsplattform drought.ch äusserten. Aus einer ersten Feedbackrunde (zwischen 14.4. und

⁵ AWStats ist ein Serviceprogramm, welches «web, streaming, ftp and mail» Server Statistiken generiert. Das Analyseprogramm funktioniert als CGI (Computer Generated Imagery) oder als CLI (Command-line interface). Sämtliche Informationen werden graphisch dargestellt. (<http://www.awstats.org>, 26.6.16)

11.11.15) gehen 49 Rückmeldungen hervor. Eine zweite Umfrage wurde am 14. April 2016 lanciert, worauf sich 21 User meldeten.

Medienbeiträge

Mittels Internetrecherche wurden für den Zeitraum vom 1.7. bis 31.12.2015 über 340 digitale Artikel zum Thema Hitze und Trockenheit zusammengetragen. Dabei wurden primär Schweizer Printmedien, aber auch Radio- und Fernsehbeiträge berücksichtigt.

3.2 Methoden

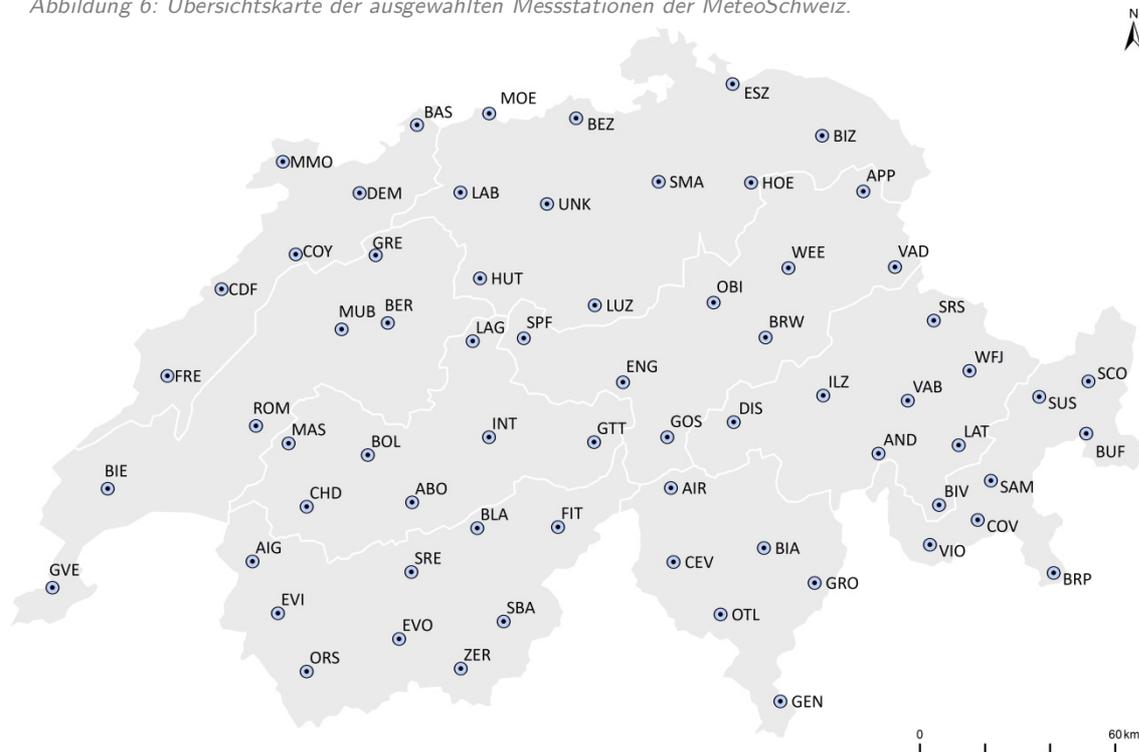
Analyse der typisierten Übersichtskarten

Zur Analyse der Übersichtskarten wurden die Trockenheitsinformationen der publizierten Karten manuell in Textdateien transferiert. Dabei wurden die täglich generierten Trockenheitsstufen «keine Trockenheit» bis «grosse Trockenheit» je Region als Ziffern (1-4) in einem Excel-Dokument festgehalten. Die erstellten Textdateien mit den Trockenheitsinformationen aus den Übersichtskarten ermöglichten die Darstellung der kategorialen Daten, Vergleiche mit weiteren Daten, sowie qualitative und einfache statistische Analysen.

Bei den Berechnungen der durchschnittlichen Trockenheitsstufen oder der Intensität eines Ereignisses wurden die Trockenheitsstufen mit den Ziffern 0 bis 3 gleichgesetzt. Die Intensität einer Trockenheit entspricht dem Verhältnis des Wasserdefizits und der Dauer einer Trockenperiode (Hisdal et al. 2004). Zur Analyse der Trockenheitsinformationen von `drought.ch` wurde die Intensität anhand der aufsummierten Trockenheitsstufen eines Ereignisses, welche als Defizit betrachtet werden und der Dauer des Ereignisses berechnet.

Ausgewählte Trockenheitssituationen wurden mit gemessenen Niederschlagsdaten verglichen. Dabei wurden die Messstationen je Region so gewählt, dass das gesamte Untersuchungsgebiet und möglichst unterschiedliche Höhenlagen berücksichtigt werden (Abbildung 6).

Abbildung 6: Übersichtskarte der ausgewählten Messstationen der MeteoSchweiz.



Jura

FRE	Bullet / La Frétaz	1205	m ü.M.
CDF	La Chaux-de-Fonds	1018	m ü.M.
COY	Courtelary	695	m ü.M.
MMO	Mormont	525	m ü.M.
DEM	Delémont	439	m ü.M.
BAS	Basel / Binningen	316	m ü.M.

westliches Mittelland

GVE	Genève-Cointrin	420	m ü.M.
BIE	Bière	684	m ü.M.
ROM	Romont	688	m ü.M.
BMUB	Grenchen	430	m ü.M.
GRE	Mühleberg	480	m ü.M.
BER	Bern / Zollikofen	553	m ü.M.

westliche Voralpen

MAS	Marsens	718	m ü.M.
CHD	Château-d'Oex	1029	m ü.M.
BOL	Boltigen	820	m ü.M.
ABO	Adelboden	1320	m ü.M.
LAG	Langnau i.E.	745	m ü.M.
INT	Interlaken	577	m ü.M.
GTT	Guttannen	1055	m ü.M.

Wallis

AIG	Aigle	381	m ü.M.
EVI	Evionnaz	480	m ü.M.
ORS	Orsières	929	m ü.M.
EVO	Evolène / Villa	1825	m ü.M.
SRE	Sierre	539	m ü.M.
ZER	Zermatt	1638	m ü.M.
BLA	Blatten, Lötschental	1535	m ü.M.
SBA	Saas Balen	1461	m ü.M.
FIT	Fieschertal	1095	m ü.M.

Tessin

CEV	Cevio	416	m ü.M.
AIR	Airolo	1139	m ü.M.
OTL	Locarno / Monti	367	m ü.M.
BIA	Biasca	291	m ü.M.
GEN	Monte Generoso	1600	m ü.M.
GRO	Grono	324	m ü.M.

östliches Mittelland

LAB	Langenbruck	731	m ü.M.
HUT	Huttwil	633	m ü.M.
MOE	Möhlin	344	m ü.M.
UNK	Unterkulm	454	m ü.M.
BEZ	Beznau	325	m ü.M.
LUZ	Luzern	454	m ü.M.
SMA	Zürich / Fluntern	556	m ü.M.
ESZ	Eschenz	414	m ü.M.
HOE	Hörnli	1144	m ü.M.
BIZ	Bischofszell	470	m ü.M.

östliche Voralpen

SPF	Schüpfheim	742	m ü.M.
ENG	Engelberg	1036	m ü.M.
GOS	Göschenen	1099	m ü.M.
OBI	Oberiberg	1087	m ü.M.
BRW	Braunwald	1330	m ü.M.
WEE	Weesen	425	m ü.M.
APP	Appenzell	750	m ü.M.
VAD	Vaduz	457	m ü.M.

Nord- und Mittelbünden

AND	Andeer	987	m ü.M.
BIV	Bivio	1856	m ü.M.
DIS	Disentis / Sedrun	1197	m ü.M.
ILZ	Ilanz	698	m ü.M.
LAT	Latsch, Bergün	1408	m ü.M.
SRS	Schiers	626	m ü.M.
VAB	Valbella	1569	m ü.M.
WFJ	Weissfluhjoch	2691	m ü.M.

Engadin

BRP	Brusio Piazzo	856	m ü.M.
BUF	Buffalora	1968	m ü.M.
COV	Piz Corvatsch	3302	m ü.M.
SAM	Samedan	1708	m ü.M.
SCO	Scuol	1303	m ü.M.
SUS	Susch	1416	m ü.M.
VIO	Vicosoprano	1089	m ü.M.

Analyse der Trockenheitsvorhersagen

Um die Trockenheitsvorhersagen analysieren zu können, mussten die Trockenheitsinformationen der 307 zunächst auf die 57 Regionen aggregiert werden. Dabei entspricht die Trockenheitsstufe einer der 57 Regionen dem arithmetischen Mittel jener Werte der 307 Kleinregionen, welche einer der 57 Regionen angehören.

Da keine Messdaten in einem vergleichbaren Format wie den Trockenheitsinformationen vorliegen, kann keine eigentliche Verifikation der Trockenheitsprognosen durchgeführt werden. Alternativ wurde durch K. Bogner der Geometrische Mittlere Relative Absolute Fehler (GMRAE, *geometric mean relative absolute error*) der Monatsvorhersagen bestimmt. Da die Trockenheitsinformationen als kategorische Grössen vorliegen, eignen sich zudem Kontingenztabellen zur Analyse der Trockenheitsvorhersagen.

GMRAE

Der GMRAE ermöglicht den Vergleich unterschiedlicher Modellierungsansätze, jedoch können keine Aussage zu Fehlergrössen gemacht werden. Im Unterschied zu anderen Fehlermassen wie dem MAE (*mean absolute error*, mittlerer absoluter Fehler) oder der RMSE (*root mean square error*, Wurzel aus dem mittleren quadratischen Fehler) ist der GMRAE skalenunabhängig und eignet sich daher zur Analyse der Trockenheitsvorhersagen von `drought.ch`. Weitere skalenunabhängige Fehlermasse sind zum Beispiel der MAPE (mean absolute percentage error, Prozentsatz des absoluten Fehlers des Erwartungswertes) und der sMAPE (symmetric mean absolute percentage error, Symmetrischer Prozentsatz des absoluten Fehlers des Erwartungswertes) (Hyndman & Koehler, 2006; siehe auch: Shcherbakov et al., 2013). Die Problematik dieser Masse ist, dass sie bei Messwerten nahe 0 undefiniert sind oder unendlich hohe Werte annehmen. Aus diesem Grund eignen sich diese Fehlermasse nicht für die Analyse der Trockenheitsvorhersagen, wie sie für `drought.ch` durchgeführt werden, so dass im Weiteren nur der GMRAE betrachtet wird.

Der GMRAE entspricht dem geometrischen Mittelwert des Verhältnisses des absoluten Fehlers eines Modellvorhersagewerts und dem absoluten Fehler des Vorhersagewerts eines Referenzmodells (Hyndman & Koehler, 2006). Zur Bestimmung der absoluten Fehler wurden anstelle der gemessenen Werte, die operationell modellierten Kennwertgrössen zur aktuellen Situation verwendet. Die Modellvorhersagewerte wurden in PREVAH mit den Daten der numerischen Wettervorhersagen COSMO-LEPS berechnet. Als Referenzmodelldaten dienten die Resultate aus der Modellierung in PREVAH mit den Daten der Klimatologie. Ein $GMRAE < 1$ bedeutet, dass die Trockenheitsvorhersagen unter Berücksichtigung der meteorologischen Vorhersagen einen geringeren absoluten Fehler aufweisen, als jene, welche mit der Klimatologie berechnet wurden. Der GMRAE wurde je Region für die Vorlaufzeiten von 1, 7, 14, 21 und 32 Tagen bestimmt. Die berechneten

GMRAE wurden jeweils über die Sommer- und Herbstmonate je Region und Vorlaufzeit gemittelt, wobei einmal für das Jahr 2015 und einmal, als Referenzzeitraum, für die Jahre 2012 bis 2015. Die Resultate der GMRAE-Berechnungen liegen als thematische Karten als Bilddateien vor.

Kontingenztabellen

Ein Vergleich der Vorhersagen mit den publizierten Trockenheitsinformationen der aktuellen Lage ist nur für die Regionen Wallis, Tessin, Nord- und Mittelbünden sowie Engadin möglich. Lediglich bei diesen Regionen stimmt die räumliche Auflösung der Informationen zur allgemeinen Lage weitgehend mit derjenigen der Prognosen überein (Anhang 1). Für diese Regionen wurden die 5-Tages und Monatsvorhersagen mittels Kontingenztabellen analysiert. Da eigentliche Messdaten fehlen, muss eher von einem Vergleich, als von einer Verifikation gesprochen werden. Es wurden 2 x 2 Kontingenztabellen erstellt, welche die Häufigkeitsverteilung des Vorkommens (Ja; Trockenheitsstufe > 1) oder Nichtvorkommens (Nein; Trockenheitsstufe = 1) von Trockenheit bei den Vorhersagen (FC) und den Beobachtungen (OBS) je Vorlaufzeit enthalten (Tabelle 3).

Tabelle 3: Aufbau einer 2 x 2-Kontingenztafel.

FC	OBS		Σ FC
	Ja	Nein	
Ja	Treffer (T)	falscher Alarm (fA)	T+fA
Nein	Verfehlen (V)	negativer Treffer (nT)	V+nT
Σ OBS	T+V	fA+nT	N = T+V+fA+nT

Anhand der Kontingenztabellen konnten verschiedene kategorische Gütemasse berechnet werden. Als einfaches Verifikationsmass zur Bestimmung der Genauigkeit der Vorhersagen kann die Trefferrate (*Percent Correct*, PC) berechnet werden (Kelemen, 2012). Die Trefferrate entspricht dem Verhältnis der richtigen Vorhersagen (*Treffer + negative Treffer*) gegenüber der Gesamtzahl der Beobachtungen oder Vorhersagen (*Treffer (T) + negative Treffer (nT) + Verfehlen(V) + falsche Alarme(fA)*). Dabei ist zu beachten, dass die *Treffer* und *negativen Treffer* berücksichtigt werden, womit die häufiger gezählte Kategorie die Trefferquote stark beeinflussen kann (Nurmi, 2003).

$$PC = \frac{T + nT}{N} \quad (3.1)$$

Weiter wurde der *Bias* (*Frequency Bias Index*) berechnet, welcher das Verhältnis der Anzahl vorhergesagten (*Treffer + falsche Alarme*) und beobachteten Ereignisse (*Treffer + Verfehlen*) misst (Kunz, 2007). Damit ermöglicht der Bias keine Aussagen betreffend Genauigkeit der Vorhersagen (Sodoudi, 2004).

$$Bias = \frac{T + fA}{T + V} \quad (3.2)$$

Der Bias kann Werte zwischen Null und $+\infty$ annehmen. $Bias = 1$ bedeutet, dass im Mittel keine Abweichung besteht. Ein $Bias > 1$ heisst, dass Ereignisse häufiger vorhergesagt als beobachtet wurden (*over-forecasted*) und ein $Bias < 1$ meint, dass Ereignisse häufiger beobachtet als vorhergesagt wurden (*under-forecasted*; Nurmi, 2003).

Weiter wurde die Entdeckungswahrscheinlichkeit (*Probability of Detection*, POD) ermittelt, welche dem prozentualen Anteil vorhergesagter Ereignisse entspricht (Nurmi, 2003). Die Entdeckungswahrscheinlichkeit ist das Verhältnis der Anzahl *Treffer* zur Anzahl beobachteter Ereignisse (*Treffer + Verfehlen*).

$$POD = \frac{T}{T + V} \quad (3.3)$$

Perfekte Vorhersagen erreichen eine $POD = 1$, jedoch kann bei einer hohen Anzahl verfehlter Ereignisse eine hohe Güte vorgetäuscht werden (Sodoudi 2004). Aus diesem Grund wurde zusätzlich der Anteil des Falschen Alarms (False Alarm Ratio, FAR) bestimmt. Dieser entspricht dem Verhältnis der Anzahl *falschen Alarme* und der Anzahl vorhergesagter Ereignisse (*Treffer + falsche Alarme*).

$$FAR = \frac{fA}{T + fA} \quad (3.4)$$

Analog zur 2 x 2-Kontingenztabelle wurden 4 x 4 – Kontingenztabellen erstellt, welche alle vier Trockenheitsstufen berücksichtigen (Tabelle 4). Zur Analyse dieser Tabellen wurden die vier gleichen Bereiche wie bei einer 2 x 2 Kontingenztabelle unterschieden, wobei z.B. die Kategorie *falscher Alarm* der Summe aller Fälle in denen Trockenheit fälschlicherweise vorhergesagt wurde, entspricht (dunkelbraun hinterlegte Bereiche in Tabelle 4). Um die Trockenheitsvorhersagen differenzierter analysieren zu können wurde der Bereich *Treffer* in drei Kategorien eingeteilt (Tabelle 4).

Tabelle 4: Aufbau der 4 x 4 Kontingenztabelle und die für die Interpretation relevante Summen-Kategorien .

FC	OBS				Σ FC
	O1	O2	O3	O4	
F1	# O1 F1	# O2 F1	# O3 F1	# O4 F1	Σ F1
F2	# O1 F2	# O2 F2	# O3 F2	# O4 F2	Σ F2
F3	# O1 F3	# O2 F3	# O3 F3	# O4 F3	Σ F3
F4	# O1 F4	# O2 F4	# O3 F4	# O4 F4	Σ F4
Σ OBS	Σ OBS1	Σ OBS2	Σ OBS3	Σ OBS4	Σ

	<i>Falscher Alarm</i>	keine Trockenheit beobachtet und Trockenheit vorhergesagt
	<i>Verfehlen</i>	Trockenheit beobachtet und keine Trockenheit vorhergesagt
	<i>Negativer Treffer</i>	keine Trockenheit beobachtet und keine Trockenheit vorhergesagt
<i>Treffer</i>		
	<i>Trockenheit unterschätzt</i>	vorhergesagte Trockenheitsstufe < beobachtete Trockenheitsstufe
	<i>Trockenheit überschätzt</i>	vorhergesagte Trockenheitsstufe > beobachtete Trockenheitsstufe
	<i>Exakter Treffer</i>	vorhergesagte Trockenheitsstufe = beobachtete Trockenheitsstufe

Die Kontingenztabelle wurden je Region, Parameter und Vorlaufzeit erstellt und entsprechend als Diagramme dargestellt. Bei den Monatsvorhersagen, welche alle sieben Tage generiert wurden, konnten 16 Vorhersagen, vom 7.5. bis 20.8.15, berücksichtigt werden. Für die Kontingenztabelle der täglich berechneten 5-Tages-Vorhersagen wurden sämtliche Vorhersagen vom 1.7. bis 31.12.15 miteinbezogen.

Userstatistik und Userfeedback

Die Userstatistik und Feedbackanalyse erfolgte mittels deskriptiver Statistik in Excel. Die unterschiedlichen Datensätze mussten zunächst überprüft und für die Analyse optimiert werden. Bei den Registrations wurden Doppelregistrierungen, zweifelhafte Registrierungen und Registrations, welche zu Testzwecken erfolgten nicht berücksichtigt. Logins wurden häufig doppelt erfasst, so dass die Liste für die Analyse zunächst bereinigt werden musste. Die Userfeedbacks wurden qualitativ und quantitativ ausgewertet.

Trockenheit in den Medien

Für den Synthesebericht wurden die Medienbeiträge Inhaltlich zusammengefasst und analysiert.

4 Analyse der zweiten Jahreshälfte 2015 aus Sicht der Informationsplattform drought.ch

4.1 Ereignisanalyse anhand der Trockenheitsinformationen zur aktuellen Lage

In diesem Kapitel steht die Analyse der auf **drought.ch** publizierten Übersichtskarten zur aktuellen Trockenheitssituation im Zentrum. Neben den Übersichtskarten zur allgemeinen Lage, werden auch jene der einzelnen Kennwerte (Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte, Seen und Speicher, Schnee) betrachtet. Die weiteren Parameter Grundwasser und Wassertemperatur können mangels Daten nicht berücksichtigt werden. Ziel ist es, den Verlauf der Trockenheitsereignisse darzustellen und räumliche Muster und Prozessketten aufzuzeigen. Weiter wird untersucht, inwiefern die Trockenheitsmuster auf bestimmte Eigenschaften einer Region schliessen lassen, respektive, ob diese Eigenschaften bei der Zuteilung der Trockenheitsstufen berücksichtigt werden. Damit kann nicht nur ein Überblick über die Ereignisse der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Schweiz vermittelt werden, sondern auch Stärken und Schwächen der Informationsplattform **drought.ch** beleuchtet werden.

4.1.1 Trockenheitsstufen der «Allgemeinen Lage»

Die Chronologie der vom 1.1.15 bis 26.1.16 auf **drought.ch** publizierten Informationen zur aktuellen allgemeinen Lage ist in Abbildung 7 (oben) dargestellt. An insgesamt drei Tagen wurden keine Trockenheitsstufen generiert (1.8., 2.8. und 8.10.15). Von Januar bis Ende Juni herrschte in allen neun Regionen vorwiegend keine bis leichte Trockenheit. Erst im zweiten Halbjahr traten vermehrt intensivere Trockenphasen auf, welche zeitweise die ganze Schweiz betrafen. Die Trockenphasen während der zweiten Jahreshälfte können in drei überregionale Trockenheitsereignisse eingeteilt werden (Abbildung 7, unten). Eine erste Phase verbreiteter Trockenheit entwickelte sich ab Anfang Juli und dauerte bis Ende September. Der Jura und die nordöstlichen Regionen der Schweiz erlebten bereits im Juli die höchste Trockenheitsstufe. Eine zwischenzeitliche Entspannung der Situation zeigte sich schweizweit Mitte August, ausser in Nord- und Mittelbünden. Eine zweite überregionale Trockenheitsphase zeichnete sich ab Anfang Oktober ab, startete am 8.11. in der ganzen Schweiz und endete am 21.11. vergleichsweise abrupt. Im östlichen Mittelland, Tessin und Engadin hielt die Trockenheit bis zur darauffolgenden dritten schweizweiten Trockenphase an. Ab Mitte Dezember bis Anfang 2016 herrschte erneut in der gesamten Schweiz Trockenheit.

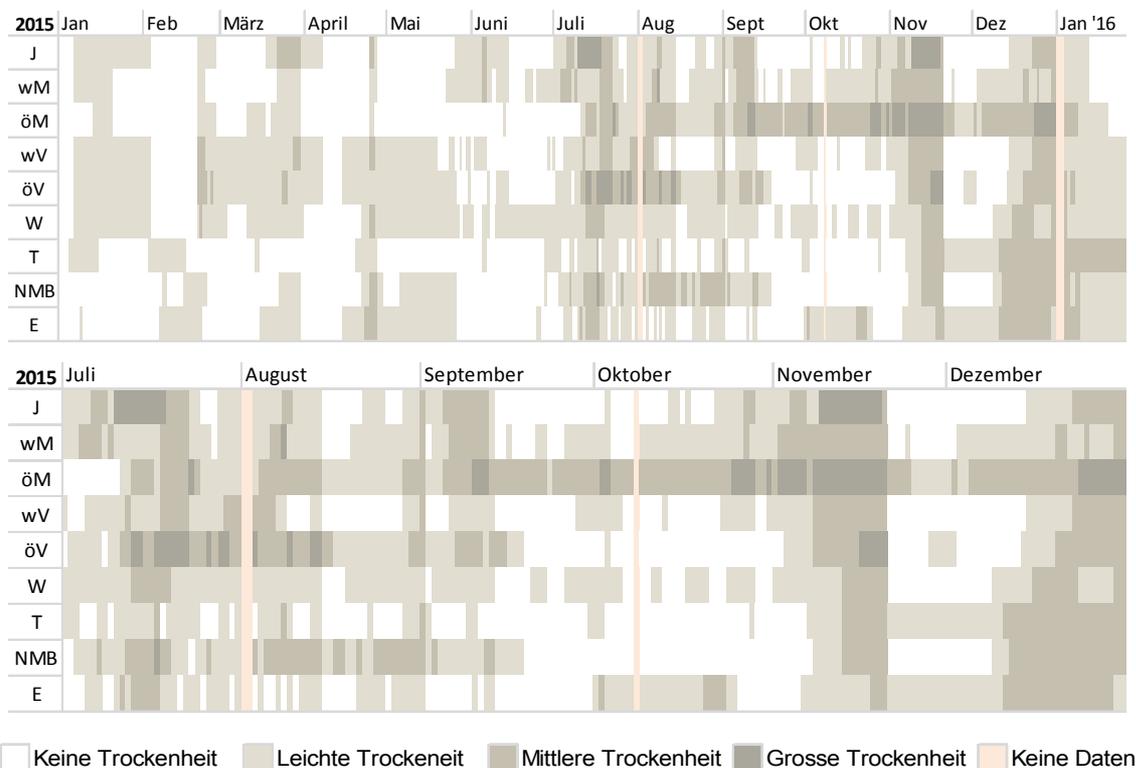


Abbildung 7: Überblick der Verteilung der automatisch generierten Trockenheitsstufen in den neun Regionen vom 1.1.15 bis 26.1.16 (oben) und für die zweite Jahreshälfte vom 1.7.15 bis 31.12.15

Die während der zweiten Jahreshälfte wiederkehrenden Trockenperioden können auch als ein grosses, überregionales Trockenereignis betrachtet werden. Dieses Ereignis zeichnete sich vorerst in den westlichen und südwestlichen Regionen der Schweiz ab. Im Verlauf des Ereignisses breitete sich die Trockenheit zunächst weiter gegen Osten und Nordosten aus und erst gegen Ende Jahr erreichte die Trockenheit die südöstlichsten Regionen der Schweiz.

Übersicht der Trockenphasen

In der zweiten Jahreshälfte erlebte das **östliche Mittelland** als einzige Region eine langanhaltende Trockenheit. Aufgrund des Verlaufs kann angenommen werden, dass die Trockenheit auch während den drei Tagen ohne Daten weiter anhielt. Leichte bis grosse Trockenheit wechselten sich ab, wobei leichte Trockenheit vor allem dann eintrat, wenn auch in den anderen Regionen ein Rückgang der Trockenheitsstufe verzeichnet werden konnte. Im östlichen Mittelland herrschten an 37 Tagen grosse, an 96 Tagen mittlere und an 38 Tagen leichte Trockenheit (Tabelle 5). Die längste Phase anhaltend grosser Trockenheit war Mitte November und dauerte knapp zwei Wochen. Die Region **Jura** erlebte in der zweiten Jahreshälfte insgesamt 111 Tage Trockenheit. Es können fünf Trockenphasen gezählt werden, welche jeweils über zwei Wochen dauerten. Grosse Trockenheit herrschte im Juli und im November an neun, respektive elf Tagen. Im **westliches Mittelland** wurden 150 Tage mit Trockenheit registriert, wobei an den meisten Tagen leich-

te Trockenheit herrschte und nur ein einziger Tag mit grosser Trockenheit auftrat. In dieser Region wurden die insgesamt zehn Trockenphasen immer wieder von mehrtägigen Perioden ohne Trockenheit unterbrochen. In den **östlichen Voralpen** wurden mit 118 Tagen fast gleich viele Trockentage gezählt wie im Jura und auch hier galt während 20 Tagen grosse Trockenheit. Jedoch traten diese vermehrt im Juli auf und wurden immer wieder von Tagen mit mittlerer Trockenheit unterbrochen. Es wurden drei mehr als 14 Tage anhaltende Trockenphasen registriert. **Nord- und Mittelbünden** erlebte an 111 Tagen Trockenheit. Lediglich an einem Tag galt grosse Trockenheit, ansonsten herrschte während der zweiten Jahreshälfte vorwiegend mittlere Trockenheit. In Nord- und Mittelbünden ereigneten sich vier Trockenheitsperioden.

Tabelle 5: Anzahl Tage mit Trockenheit während der zweiten Jahreshälfte (184 Tage) und Übersicht der Anzahl Tage je Trockenheitsstufe, Anzahl Trockenphasen pro Region und durchschnittliche Dauer einer Trockenphase.

Region	Tage mit Trockenheit	Absolute Häufigkeit der Trockenheitsstufen [Tage]				Anzahl Trockenphasen	Durchschn. Dauer einer Trockenheit [Tage]
							
J	111	20	33	58	70	9	12.3
wM	150	1	45	104	31	10	15
öM	171	37	96	38	10	1	171
wV	101	-	36	65	80	10	10.2
öV	118	20	51	47	63	6	19.7
W	135	-	25	110	46	10	13.5
T	97	-	32	65	84	14	6.9
NMB	111	1	63	47	70	4	27.8
E	123	-	33	90	58	15	8.2

In den westliche Voralpen, im Wallis, Tessin und Engadin wurde die Stufe grosse Trockenheit nie erreicht. Zudem herrschte in diesen Regionen an deutlich mehr Tagen leichte als mittlere Trockenheit. In den **westlichen Voralpen** gab es 101 Tage Trockenheit, wovon an 65 Tagen leichte Trockenheit herrschte. Im **Wallis** wurden insgesamt 135 Tage mit Trockenheit gezählt und davon war es an 110 Tagen leicht trocken. Das **Tessin** weist mit 97 Tagen am wenigsten Tage mit Trockenheit auf. An 32 Tagen herrschte mittlere Trockenheit und gut doppelt so vielen Tagen leichte Trockenheit. Von Juli bis November traten 13 kurzanhaltende Trockenphasen auf. Im **Engadin** war es während der zweiten Jahreshälfte an 123 Tage trocken und davon an 90 Tagen leicht trocken. Es können 15 Trockenphasen gezählt werden, so viele wie in keiner anderen Region.

Während der zweiten Jahreshälfte wurden regional mehrwöchige Phasen **ohne Trockenheit** registriert: zwischen Mitte September und Anfang November in den Regionen östliche Voralpen, Tessin und Nord- und Mittelbünden und zwischen Ende November

und Mitte Dezember in den Regionen Jura, westliche Voralpen und Nord- und Mittelbünden. In den westlichen Voralpen galten auch im August während zwei Wochen normale Verhältnisse. Die östlichen Voralpen und Nord- und Mittelbünden erlebten während der zweiten Jahreshälfte als einzige Regionen eine über 29-tägige Phase ohne Trockenheit.

Ablauf der Trockenereignisse

Eine Phase mittlerer Trockenheit resultierte stets aus einer vorangegangenen leichten Trockenheit und grosse Trockenheit nur auf vorangegangene mittlere Trockenheit. Eine Ausnahme zeigt sich in der Region Jura, in der zweimal eine grosse Trockenheit direkt auf eine leichte Trockenheit folgte (Abbildung 7). Das Ende der Trockenheitsperioden zeigte unterschiedliche Abläufe. Entweder endete die Trockenheit abrupt, was zum Beispiel am 21.11. in fast allen Regionen ausser im östlichen Mittelland, Tessin und Engadin der Fall war, oder das Wasserdefizit nahm während mehreren Tagen ab, bis sich die Situation in der Region normalisiert hatte (z.B. in den östlichen Voralpen und in Nord- und Mittelbünden (September) und im Jura (Juli); Abbildung 7).

Variabilität

In Abbildung 8 wird die Variabilität der Trockenperioden der verschiedenen Regionen anhand der aufsummierten Trockenheitsstufen je Ereignis dargestellt. Es fällt auf, dass die Variabilität der Trockenheitsereignisse im Sommer und Herbst höher war als während den Winter- und Frühlingsmonaten. Ein vergleichbares Muster der Trockenheitsperioden zeigen das Tessin und das Engadin. Diese Regionen erlebten mehr kurzanhaltende Trockenphasen als die übrigen Regionen und damit auch eine geringere durchschnittliche Dauer der Trockenperioden (Tabelle 5). Während den Sommermonaten haben beide Regionen eine deutlich höhere Variabilität der Trockenereignisse als im November und Dezember aufgewiesen.

Im Jura, im westlichen Mittelland, in den westlichen Voralpen und im Wallis lag die durchschnittliche Dauer einer Trockenheitsstufe zwischen 10 und 15 Tagen. Dies lässt auf eine geringere Variabilität der Trockenperioden schliessen, was auch in Abbildung 8 ersichtlich wird. In den östlichen Voralpen und in Nord- und Mittelbünden ist die Variabilität der Trockenheitsereignisse im Vergleich zu den anderen Regionen (ausser öM) noch geringer. Hier dauerten die Ereignisse im Durchschnitt 19.7, resp. 27.8 Tage (Tabelle 5, Abbildung 8).

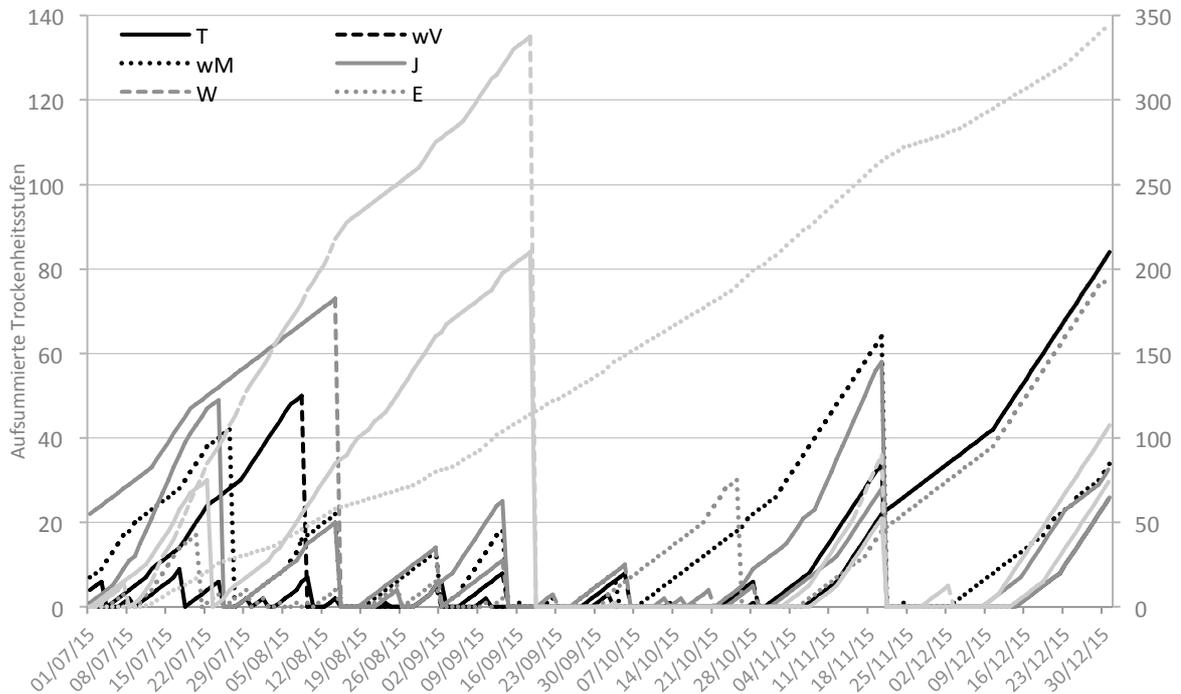


Abbildung 8: Trockenheitsstufen aufsummiert pro Trockenperiode und Region (mit Berücksichtigung der trockenen Tage Ende Juni). Dabei gilt: keine Trockenheit = 0, leichte Trockenheit = 1, mittlere Trockenheit = 2, grosse Trockenheit = 3. Für die Summe der Trockenheitsstufen der Region östliches Mittelland ist die sekundäre y-Achse zu beachten.

Dauer und Intensität

Die Dauer (D) und Intensität (I) der Trockenperioden der zweiten Jahreshälfte 2015 sind in Tabelle 6 aufgelistet. Die neun Regionen weisen für das zweite Halbjahr unterschiedlich lange und intensive Trockenphasen auf. Die längste Trockenheit im Wallis begann bereits Anfang Juni und dauerte 66 Tage. In den Voralpen begann die jeweils längste Trockenperiode Anfang Juli, wobei diese in den östlichen Voralpen deutlich länger anhielt als in den westlichen Voralpen. In Nord- und Mittelländern setzte die längste Trockenperiode Ende Juli ein und dauerte fast 60 Tage. In den westlichen Regionen der Schweiz, Jura und westliches Mittelland, hielten die Trockenphasen im Oktober am längsten an. In den Regionen Tessin und Engadin setzten Anfang November deren längste Trockenperiode ein. Im östlichen Mittelland dauerte die Trockenperiode mit 174 Tagen am längsten. Mit einer Dauer von 72 Tagen herrschte die zweitlängste Trockenheit im benachbarten Gebiet, den östlichen Voralpen.

Tabelle 6: Beginn, Dauer (*D*; [Tage]) und Intensität (*I*) der Trockenperioden, welche sich während der zweiten Jahreshälfte 2015 in den neun Regionen ereignet hatten. Die jeweils längste Trockenperiode einer Region ist kursiv und das intensivste Ereignis fett abgedruckt.

Jura			westl. Mittelland			östl. Mittelland			westl. Voralpen			östl. Voralpen		
<i>D</i>	<i>I</i>		<i>D</i>	<i>I</i>		<i>D</i>	<i>I</i>		<i>D</i>	<i>I</i>		<i>D</i>	<i>I</i>	
1.7.	24	2.04	25.6.	32	1.31	11.7.	174	1.98	1.7.	1	1.00	2.7.	6	1.00
28.7.	18	1.11	28.7.	18	1.22				5.7.	35	1.43	9.7.	72	1.88
22.8.	4	1.00	20.8.	13	1.08				13.8.	2	1.00	3.10.	1	1.00
29.8.	16	1.56	3.9.	11	1.64				29.8.	4	1.25	3.11.	18	2.00
3.10.	1	1.00	16.9.	1	1.00				6.9.	8	1.00	28.11.	5	1.00
14.10.	2	1.00	21.9.	2	1.00				28.9.	8	1.00	14.12.	18	1.67
17.10.	1	1.00	26.9.	8	1.00				13.10.	1	1.00			
22.10.	30	1.93	8.10.	44	1.45				23.10.	6	1.00			
15.12.	17	1.53	24.11.	1	1.00				31.10.	21	1.62			
			3.12.	34	1.00				15.12.	17	1.53			

Wallis			Tessin			NMB			Engadin		
<i>D</i>	<i>I</i>										
10.6.	66	1.11	28.6.	6	1.00	3.7.	20	1.50	5.7.	3	1.00
19.8.	14	1.00	7.7.	2	1.00	24.7.	57	1.47	10.7.	11	1.55
3.9.	11	1.00	10.7.	8	1.13	8.11.	13	1.62	22.7.	3	1.00
20.9.	3	1.00	19.7.	6	1.00	9.12.	23	1.87	26.7.	4	1.00
26.9.	10	1.00	28.7.	2	1.00				31.7.	2	1.00
11.10.	2	1.00	31.7.	2	1.00				4.8.	1	1.00
17.10.	4	1.00	4.8.	6	1.17				7.8.	1	1.00
24.10.	5	1.00	13.8.	2	1.00				9.8.	1	1.00
1.11.	20	1.40	23.8.	1	1.00				11.8.	4	1.00
9.12.	23	1.43	29.8.	5	1.20				21.8.	5	1.00
			9.9.	2	1.00				27.8.	6	1.00
			30.9.	3	1.00				10.9.	1	1.00
			28.10.	1	1.00				12.9.	2	1.00
			7.11.	55	1.53				30.9.	25	1.20
									6.11.	56	1.39

Die Intensität ergibt sich aus dem Verhältnis der aufsummierten Trockenheitsstufen und der Dauer (Tage) eines Ereignisses. Dabei gilt: keine Trockenheit = 0, leichte Trockenheit = 1, mittlere Trockenheit = 2 und grosse Trockenheit = 3. Da die Trockenheitsstufen auf `drought.ch` relativ zur Klimatologie zugeteilt werden, müssen die hier berechneten Intensitäten ebenfalls als relative Grösse aufgefasst werden.

Die stärksten Trockenperioden mit ereigneten sich in den Regionen Jura, östliches Mittelland, östliche Voralpen und Nord- und Mittelbünden (Tabelle 6). Im westlichen Mittelland und in den westlichen Voralpen betrug die höchsten Intensitäten 1.64 und 1.62. Im Wallis, Tessin und Engadin wurden leicht geringere Intensitäten von 1.43 bis 1.55

registriert. Nur die Regionen Jura und Engadin erlebten die intensivste Trockenphase bereits im Sommer, während bei den anderen Regionen die Herbst- oder Wintertrockenheit stärker ausfiel. Im westlichen Mittelland begann die intensivste Trockenphase Anfang September und dauerte lediglich 11 Tage. In den Westlichen Voralpen setzte die stärkste Trockenphase Ende Oktober ein und dauerte bis am 20.11. (21 Tage). Auch in den östliche Voralpen und im Tessin ereigneten sich die jeweils intensivsten Trockenphasen im November und dauerten 18 und 55 Tage. Im Wallis und in Nord- und Mittelländern ereigneten sich die intensivsten Trockenperioden Ende Jahr. Nur im östlichen Mittelland und im Tessin war die längste Trockenheit zugleich auch die intensivste.

In Regionen, in welchen an mindestens einem Tag grosse Trockenheit herrschte, dauerte eine Trockenphase im Durchschnitt länger als in Regionen, welche nie grosse Trockenheit erlebten. Je länger die Trockenheit anhält, desto grösser fällt auch das Wasserdefizit aus. Daher kann vermutet werden, dass die Intensität einer Trockenheit mit zunehmender Dauer ansteigt. Für die Trockenperioden der neun Regionen, welche sich während der zweiten Jahreshälfte ereigneten, konnte eine signifikante Korrelation zwischen Dauer und Intensität der Trockenereignisse aufgezeigt werden ($r = 0.595$, $p = 1.165e-8$).

Räumliche Verteilung der durchschnittlichen Trockenheitsstufen

Abbildung 9 zeigt die räumliche Verteilung der mittleren Trockenheitsstufen je Region für die Monate Juli und August (i), September und Oktober(ii), November und Dezember(iii) und für die zweite Jahreshälfte 2015 (iv). Die Tabelle mit den durchschnittlichen Trockenheitsstufen pro Monat und Region befindet sich im Anhang 4.

Für die Sommermonate Juli und August zeigen die meisten Regionen eine durchschnittlich leichte Trockenheit an. Nur die östlichen Voralpen erlebte bereits im Sommer eine durchschnittlich mittlere Trockenheit. Im Tessin und Engadin zeigte sich erst während den Monaten November und Dezember eine leichte Trockenheit. Auch schweizweit waren der November und der Dezember am trockensten. Insbesondere der Dezember zeichnete sich als landesweit trockenster Monat ab (durchschnittliche Trockenheitsstufe Gesamtschweiz: 1.3). Im östlichen Mittelland kann vom Juli bis Ende Jahr eine kontinuierliche Zunahme der durchschnittlichen Trockenheitsstufe beobachtet werden. Während Juli und August sowie November und Dezember als eher trockene Monate auffallen, hatte sich die Trockenheitssituation im September und Oktober verbreitet etwas entspannt. Während der zweiten Jahreshälfte war es mit einer durchschnittlichen Trockenheitsstufe von 1.88 in der Region östliches Mittelland deutlich am trockensten. In der Region Tessin war die Trockenheit während der zweiten Jahreshälfte am geringsten (im Durchschnitt 0.71). In allen übrigen Regionen zeigen die über das zweite Halbjahr gemittelten Trockenheitsstufen eine leichte Trockenheit an.

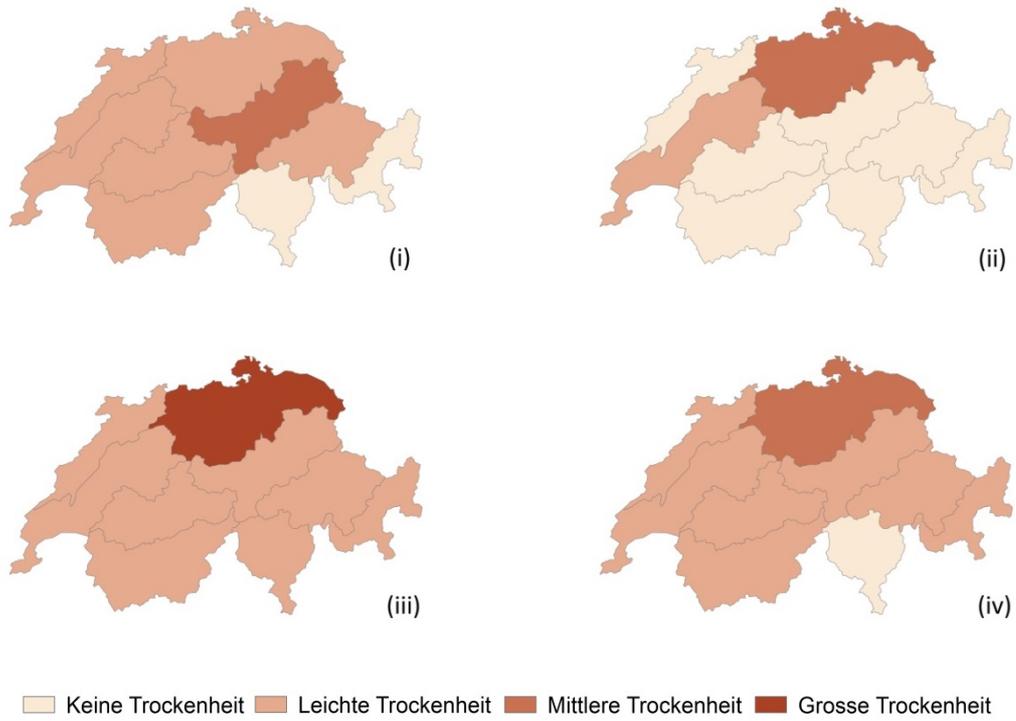


Abbildung 9: Räumliche Verteilung der mittleren Trockenheitsstufen für die Monate Juli & August (i), September & Oktober (ii) und November & Dezember (iii), sowie für die 2. Jahreshälfte 2015 (iv).

4.1.2 Vergleich ausgewählter Trockenperioden mit gemessenen Tages-Niederschlagssummen

Im Folgenden werden die automatisch generierten und publizierten Trockenheitsstufen zur allgemeinen Lage mit gemessenen Niederschlagsdaten verglichen. Dabei werden ausgewählte Situationen genauer analysiert: (i) die lang anhaltende Trockenheit im östlichen Mittelland und die damit verbundene 13-tägige grosse Trockenheit, (ii) ähnliche, sich wiederholende Muster zweier Trockenheitsereignisse im Jura, (iii) die täglich und zweitäglich variierende Zuteilung der Trockenheitsstufen im Engadin und Nord- und Mittelbünden sowie (iv) das abrupte Ende der Trockenheitsphase im November.

i) Langanhaltende Trockenheit im östlichen Mittelland

Ab dem 11.7. herrschte im östlichen Mittelland während 174 Tagen Trockenheit. Für den Vergleich der generierten Trockenheitsstufen mit den gemessenen Niederschlagswerten werden die Daten von 10 verschiedenen Messstationen berücksichtigt (vgl. Kap. **Error! Reference source not found.**, Abbildung 6; Abbildung 10).

Nach zwei niederschlagsfreien Tagen wurde auf `drought.ch` am 11.7. zunächst leichte Trockenheit und zwei Tage später mittlere Trockenheit angezeigt. Bis zum 16.7. wurde nur auf dem Hörnli 0.4 mm Niederschlag gemessen. Am 17.7. fielen bei Huttwil 7.5 mm Regen und gleichzeitig ging die Trockenheitsstufe auf leichte Trockenheit zurück. Dass sich die Trockenheit am 23.7. trotz Niederschlägen verstärkte, kann damit erklärt werden, dass andere Kennwerte wie Bodenfeuchte und Abfluss erst verzögert auf das vorangehende Niederschlagsdefizit reagierten. Nach zwei niederschlagsfreien Tagen Anfang August herrschte ab dem 4.8. erneut mittlere Trockenheit. Am 9. und 10.8. wurden in Bischofszell über 70 mm Niederschlag gemessen und auf dem Hörnli knapp 30 mm. Dabei handelte es sich um Gewitterregen, welcher zwar schweizweit verbreitet auftrat, aber lokal sehr unterschiedliche Niederschlagsmengen aufwies (MeteoSchweiz 2016), was das Anhalten der mittleren Trockenheit erklärt. Am 15.8. wurden bei den zehn Messstationen durchschnittlich knapp 10 mm Niederschlag gemessen und die Trockenheitsstufe ging zurück. Bis zum 24.8. wurde verbreitet immer wieder Niederschlag gemessen, die leichte Trockenheit blieb jedoch bestehen. Die Darstellung der allgemeinen Lage auf `drought.ch` setzt sich aus der aktuellen Situation aller trockenheitsrelevanten Parameter zusammen (vgl. Kap. 2.3). Dies bedeutet, auch wenn für den Niederschlag kein Defizit angezeigt wird, kann aufgrund anderer Parameter bei der Übersichtskarte der allgemeinen Lage weiterhin Trockenheit angezeigt werden.

Ab dem 25.8. folgten vier niederschlagsfreie Tage, worauf mittlere Trockenheit einsetzte. Nach den Niederschlägen vom 1. September (8.2 und 25 mm) ging die Trockenheit wieder zurück. In den darauf folgenden Tagen wurden mit 0.3 bis 2 mm nur wenig Nieder-

schlag gemessen, die Trockenheitsstufe nahm zu und erreichte nach drei niederschlagsfreien Tagen die Stufe grosse Trockenheit. Mit den Niederschlägen vom 13.9. entspannte sich die Situation wieder und am 23.9., nach weiteren Regenfällen, ging die Trockenheit während einem Tag auf leichte Trockenheit zurück. Am 24.9. setzte eine 8-tägige niederschlagsfreie Phase ein. Gleichzeitig nahm die Trockenheit sofort wieder zu und Anfang Oktober setzte erneut grosse Trockenheit ein. Während im Oktober weiträumig immer wieder bis zu 20 mm Regen gefallen war, herrschte anhaltende mittlere Trockenheit, welche sich Ende Monat, nach fünf niederschlagsfreien Tagen, verstärkte. Die Niederschläge vom 28.10. erklären den kurzzeitigen Rückgang der Trockenheitsstufe. Vom 31.10. bis und mit 12.11. war in der Region kein Millimeter Regen gefallen und es herrschte vorwiegend grosse Trockenheit. Weshalb während dieser Zeit dennoch an zwei Tagen mittlere Trockenheit angezeigt wurde, kann mit den gemessenen Niederschlagsdaten der zehn Stationen nicht erklärt werden. Während weiterhin grosse Trockenheit herrschte, wurden nur vereinzelt geringe Niederschlagsmengen gemessen. Am 20.11. gingen in der Region zwischen 34 und 60 mm Regen nieder, woraufhin am 21.11. die Trockenheitsstufe auf mittlere Trockenheit zurück ging. Bis Ende Monat wurden verbreitet Tages-Niederschlagssummen von bis zu 16.2 mm gemessen und die Trockenheit ging weiter zurück. Weshalb am 2.12. mittlere Trockenheit und am Tag darauf wieder leichte Trockenheit herrschte, kann mit den Tages-Niederschlagssummen nicht erklärt werden. Im Dezember regnete es nur an 6 bis 8 Tagen und nie mehr als 10 mm/Tag. Entsprechend kann bis Ende Jahr eine Zunahme der Trockenheitsstufe beobachtet werden.

Der Vergleich der Niederschlagsmessungen mit den Trockenheitsstufen in der Region östliches Mittelland zeigt, dass ein Zusammenhang zwischen den Tages-Niederschlagssummen und der Veränderungen der Trockenheitsstufen zu erkennen ist. Jedoch können kurzzeitige Wechsel der Trockenheitsstufen nicht immer mit den Niederschlagsmessungen erklärt werden (z.B. am 17.7., 1.11., 7.11. und 3.12.). Der Rückgang einer Trockenheitsstufe, abgesehen von den genannten Ausnahmefällen, tritt jeweils am selben Tag, oder am Tag nach dem Niederschlagsereignis, ein. Die Auswirkungen regenfreier Tage zeigt sich meistens mit zeitlicher Verzögerung. Eine grosse Trockenheit setzte jeweils nach ein bis acht niederschlagsfreien Tagen ein (Ausnahme 23.7.).

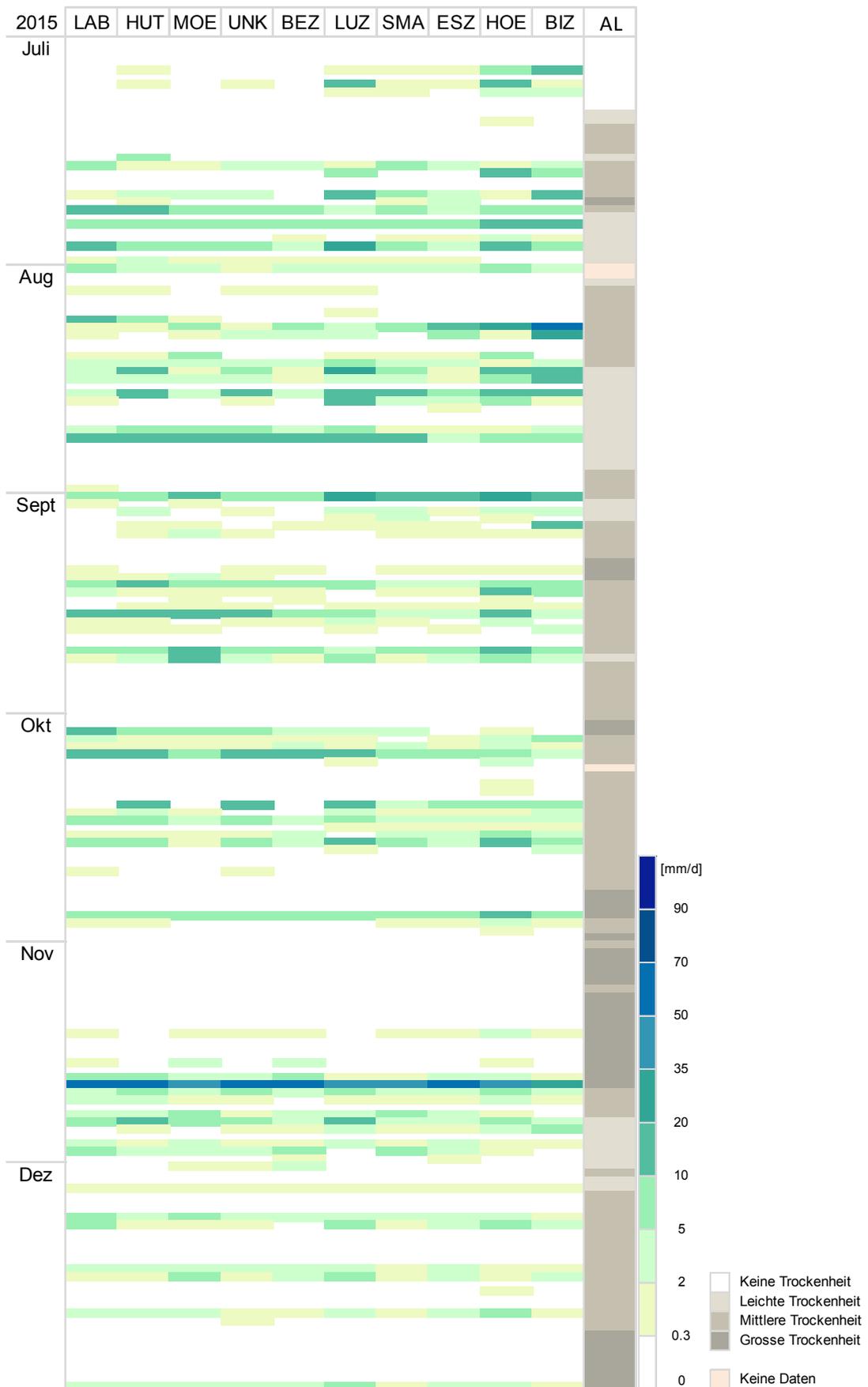


Abbildung 10: Gemessene Tages-Niederschlagssummen und die automatisch generierten Trockenheitsstufe der Allgemeinen Lage für die Region östliches Mittelland während der zweiten Jahreshälfte 2015.

ii) *Wiederholtes Muster der Trockenheitsstufenzuordnung im Jura*

Für den Vergleich der automatisch generierten Trockenheitsstufen von `drought.ch` mit den gemessenen Tages-Niederschlagssummen werden die Daten von sechs Stationen der Region verwendet (vgl. Kap. **Error! Reference source not found.**, Abbildung 6). Im Jura herrschte vom 10. bis zum 18.7. grosse Trockenheit (Abbildung 11, links). Nach einer niederschlagsfreien Woche setzte am 1.7. leichte Trockenheit ein. Es folgten drei Tage mittlerer und dann wieder ein Tag leichter Trockenheit, bevor grosse Trockenheit einsetzte. Während der ersten leichten Trockenheit wurden nur bei den Messstationen La Chaux-de-Fonds 17 mm und bei Mormont knapp 1 mm Niederschlag gemessen und die Trockenheit verstärkte sich. Bevor die Trockenheit auf leichte Trockenheit zurück ging, wurde am 7. und 8.7. bei denselben Stationen 1.1 und 3.3 mm Niederschlag gemessen.

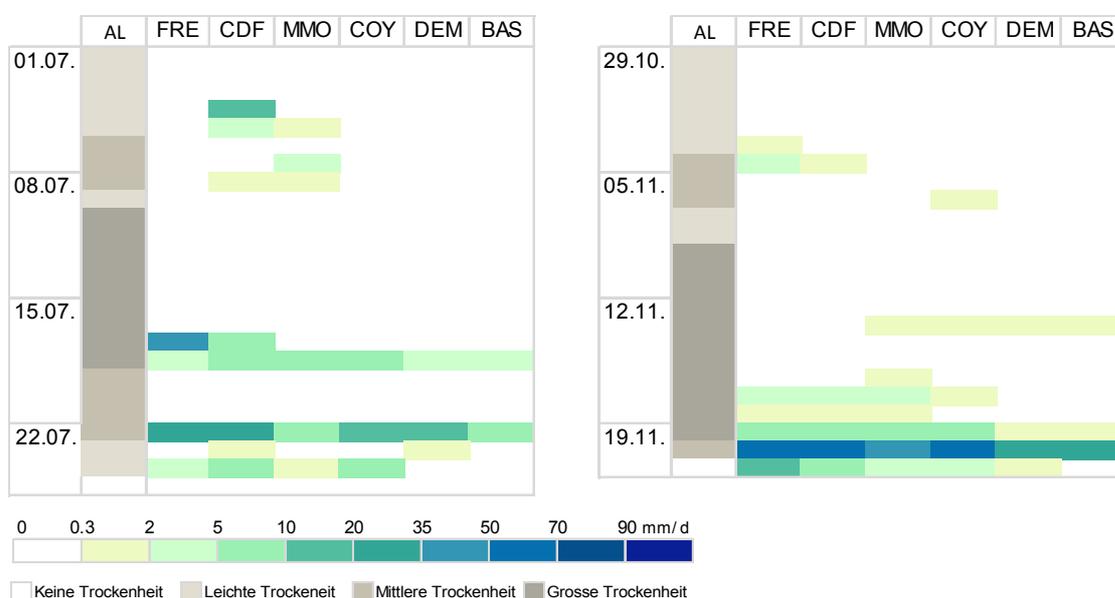


Abbildung 11: Vergleich der gemessenen Tages-Niederschlagssummen mit den generierten Trockenheitsstufen der Allgemeinen Lage für zwei sich ähnliche Situationen im Juli 2015 (l.) und im November 2015 (r.).

Ein ähnliches Muster zeigte sich im November. Nach leichter Trockenheit (ab dem 29.10.) und drei Tagen mittlerer Trockenheit, folgten wiederum zwei Tage leichte Trockenheit und dann direkt eine 11-tägige Phase grosser Trockenheit (Abbildung 11, rechts). Zwischen dem 29.10. und dem 5.11. wurden bei drei Stationen Niederschlagsmengen von 0.3 bis 2.4 mm erfasst. Nach diesen Niederschlägen ging die Trockenheit während zwei Tagen auf leichte Trockenheit zurück und nach zwei niederschlagsfreien Tagen setzte grosse Trockenheit ein. In beiden Situationen wurden in den Wochen vor der grossen Trockenheit nur vereinzelt geringe Niederschlagsmengen gemessen.

Diese zwei Trockenheitssituationen bilden eine Ausnahme: während dem zweiten Halbjahr wurde in der Region Jura keine weitere vergleichbare Situationen registriert, bei welcher die Trockenheit nach solch tiefen Niederschlagssummen zurückging. Ebenso wurde auch der direkte Übergang von einer leichten zu einer grossen Trockenheit nur in

der Region Jura beobachtet. Anhand der Tages-Niederschlagsmessungen kann die leichte Trockenheit, welche unmittelbar vor der grossen Trockenheit auftrat, nicht erklärt werden. Die Vermutung, dass die Berücksichtigung der 20-Tages-Niederschlagssummen diesen Ablauf hervorrief, konnte nicht bestätigt werden. Nur eine sprunghafte Veränderung eines anderen Parameters oder ein Fehler bei der Modellierung können die atypische Entwicklung der Trockenheit im Jura erklären.

iii) Variabilität der Trockenheitsstufen in Nord- und Mittelbünden und im Engadin

In den Regionen Nord- und Mittelbünden sowie im Engadin fallen die täglich und zweitäglich wechselnden Trockenheitsstufen im August auf. Für die Analyse dieser Trockenheitsentwicklung werden die Niederschlagsmessungen von acht (NMB) und sieben (E) Stationen der Regionen verwendet (vgl. Kap. **Error! Reference source not found.**, Abbildung 6; Abbildung 12).

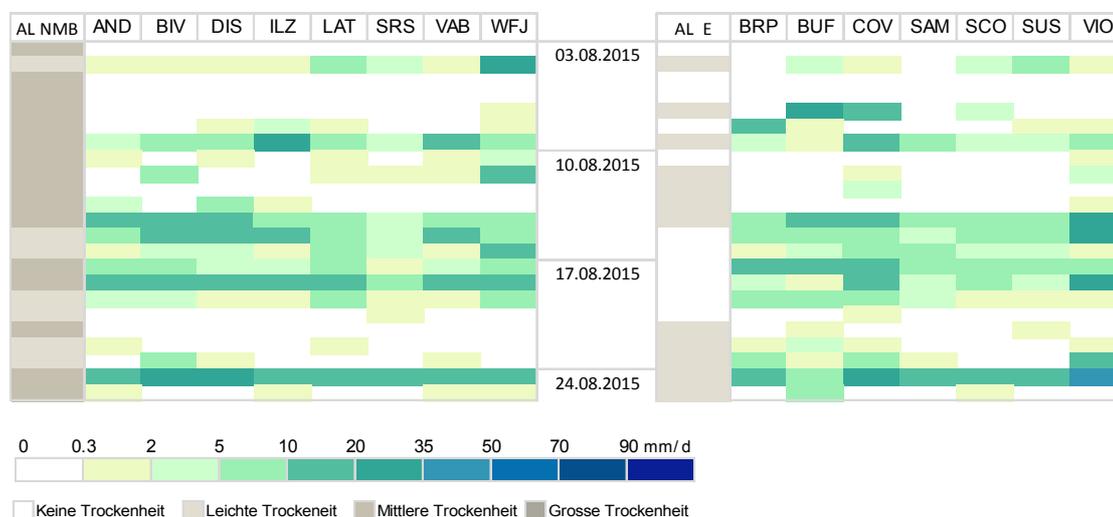


Abbildung 12: Vergleich der gemessenen Niederschlagswerte mit den Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage (AL) während einer Phase täglich oder zweitäglich variierender Trockenheitsstufen in Nord- und Mittelbünden (l.) und im Engadin (r).

In Nord- und Mittelbünden ging die Trockenheitsstufe am 15.8. während zwei Tagen von mittlerer auf leichte Trockenheit zurück. In dieser Zeit wurde bei den Messstationen durchschnittlich 14 mm Niederschlag gemessen, was den Rückgang der Trockenheitsstufe erklären kann. Am 17.8. stieg die Trockenheit trotz verbreiteter Niederschläge von durchschnittlichen 5 mm wieder an. Am zweiten Tag der mittleren Trockenheit wurde verbreitet bis über 16 mm Niederschlag gemessen, worauf am Folgetag die Trockenheit wieder abnahm. Am 19. und 20.8., während der leichten Trockenheit, fielen durchschnittlich 3.1 mm Regen und die Trockenheitsstufe stieg wieder an. Weshalb am Tag darauf, nach zwei fast niederschlagsfreien Tagen, die Trockenheitsstufe wieder abnahm, kann mit den Niederschlagsmessungen nicht erklärt werden. Nach den zwei Tagen leichter Tro-

ckenheit herrschte erneut mittlere Trockenheit, obschon gleichzeitig Niederschläge von 10 bis 35 mm gemessen wurden.

Im Engadin herrschte am 4.8. leichte Trockenheit. Am selben Tag wurde bei fünf der sieben Stationen 0.3 bis 5.5 mm Niederschlag gemessen, was den darauffolgenden Rückgang der Trockenheit erklären kann. Nach zwei niederschlagsfreien Tagen setzte wieder leichte Trockenheit ein. Gleichzeitig wurden bei den Messstationen Buffalora und Piz Corvatsch 25.6 und 13.4 mm Niederschlag gemessen, was den erneuten Rückgang der Trockenheitsstufe am Folgetag begründet. Am 8.8. fiel nur bei der Station Brusio Piazza über 12 mm Regen, während bei drei weiteren Stationen 0.7 bis 1.7 mm gemessen wurden. Die gemessene Niederschlagsmenge bei Brusio Piazza resultierte möglicherweise aus einem lokalen Ereignis, so dass in der gesamten Region dennoch Trockenheit einsetzte. Der Rückgang der Trockenheit am 10.8. korreliert mit den verbreitet gemessenen Niederschlägen vom 9.8. Nach einem fast niederschlagsfreien Tag am 11.8. setzte wieder leichte Trockenheit ein.

Die Wechsel der Trockenheitsstufen im Engadin können mit den Tages-Niederschlagssummen erklärt werden. Jedoch fällt auf, dass die Zuteilung der Trockenheitsstufen den Niederschlagsereignissen hinterher hinkt. Nächtliche Niederschlagsereignisse würden dieses Muster erklären, da die verwendeten Messwerte die Niederschlagssummen bis um 5:40 Uhr des Folgetags berücksichtigen, die Trockenheitsstufen jedoch jeweils mittags zugeteilt werden. Die Trockenheitsstufenwechsel in Nord- und Mittelbünden können nicht immer mit den gemessenen Niederschlagsdaten erklärt werden. Im Vergleich zum Engadin ereignete sich die analysierte Variation der Trockenheitsstufen in Nord- und Mittelbünden innerhalb einer längeren Trockenperiode (ab dem 24.7. während 57 Tagen). Damit kann angenommen werden, dass die anhaltende Trockenheit bereits in anderen Bereichen des hydrologischen Kreislaufs wirkte und somit das Wasserdefizit anderer Kenngrößen die Trockenheitsstufenzuteilung der allgemeinen Lage beeinflusste.

iv) Ende der schweizweit anhaltenden Trockenheit im November

Von Anfang November bis zum 20.11. nahm die Trockenheitsstufe in allen Regionen zu. In dieser Zeit wurden nur vereinzelt Niederschläge von maximal 2 mm/Tag gemessen. Erst am 19.11. wurden verbreitet zwischen 0.3 und 5.5 mm Niederschlag gemessen. Im Jura war die Niederschlagssumme am grössten, worauf die Trockenheit dort auf mittlere Trockenheit zurück ging (Abbildung 13).

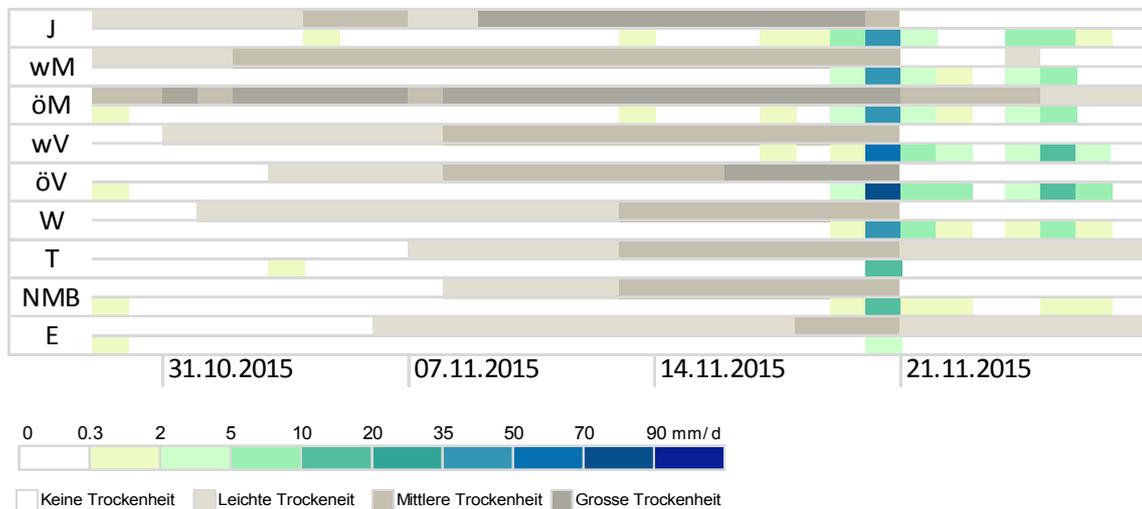


Abbildung 13: Vergleich der automatisch generierten Trockenheitsstufen aller Regionen mit dem Mittel der Tages-Niederschlagssummen ausgewählter Stationen je Region.

Am 20.11. regnete es in allen Landesteilen. Die grössten Regenmengen gingen in den Voralpen nieder (öV: 73.8 mm, wV: 50.4 mm). Im Mittelland, Jura und Wallis wurden zwischen 40 und knapp 50 mm Niederschlag gemessen. In den Regionen Tessin und Nord- und Mittelbünden wurden mit weniger als 20 mm deutlich geringere Niederschlagsmengen registriert und im Engadin wurden lediglich 4.2 mm Regen erfasst. Mit Ausnahme der Regionen östliches Mittelland, Wallis und Engadin, reichten diese Regenmengen aus, um der anhaltenden und teilweise grossen Trockenheit ein Ende zu setzen. Die geringeren Niederschlagsmengen im Tessin und Engadin sorgten für einen Rückgang der Trockenheitsstufe auf leichte Trockenheit. Im östlichen Mittelland ging die Trockenheit nach 47.7 mm Niederschlag lediglich auf die Stufe mittlere Trockenheit zurück. Dies deutet darauf hin, dass sich das Wasserdefizit in dieser Region so weit entwickelt hatte, dass ein einziger Starkniederschlag die Situation nur geringfügig beeinflussen konnte.

4.1.3 Trockenheitsstufen der verschiedenen Parameter

Der Verlauf der Trockenheitsereignisse während der zweiten Jahreshälfte wird aufgelöst nach den Werten der Trockenheitskenngrössen je Region in einer Graphik dargestellt (Abbildung 14 bis Abbildung 22). Die Darstellungen umfassen die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage (Fläche) und den Zustand der Kenngrössen Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte, Trockenheit im Wald, Seen und Speicher sowie Schnee (Linien). Die Trockenheitsstufe kann jeweils an der Primärachse abgelesen werden. Weiss bedeutet keine Trockenheit. Je dunkler der Farbton, desto grösser ist die Trockenheit, respektive das Wasserdefizit. Ergänzend werden die je Region gemittelten Tages-Niederschlagssummen ausgewählter Messstationen dargestellt (vgl. Kap. **Error! Reference source not found.**, Abbildung 6).

Jura

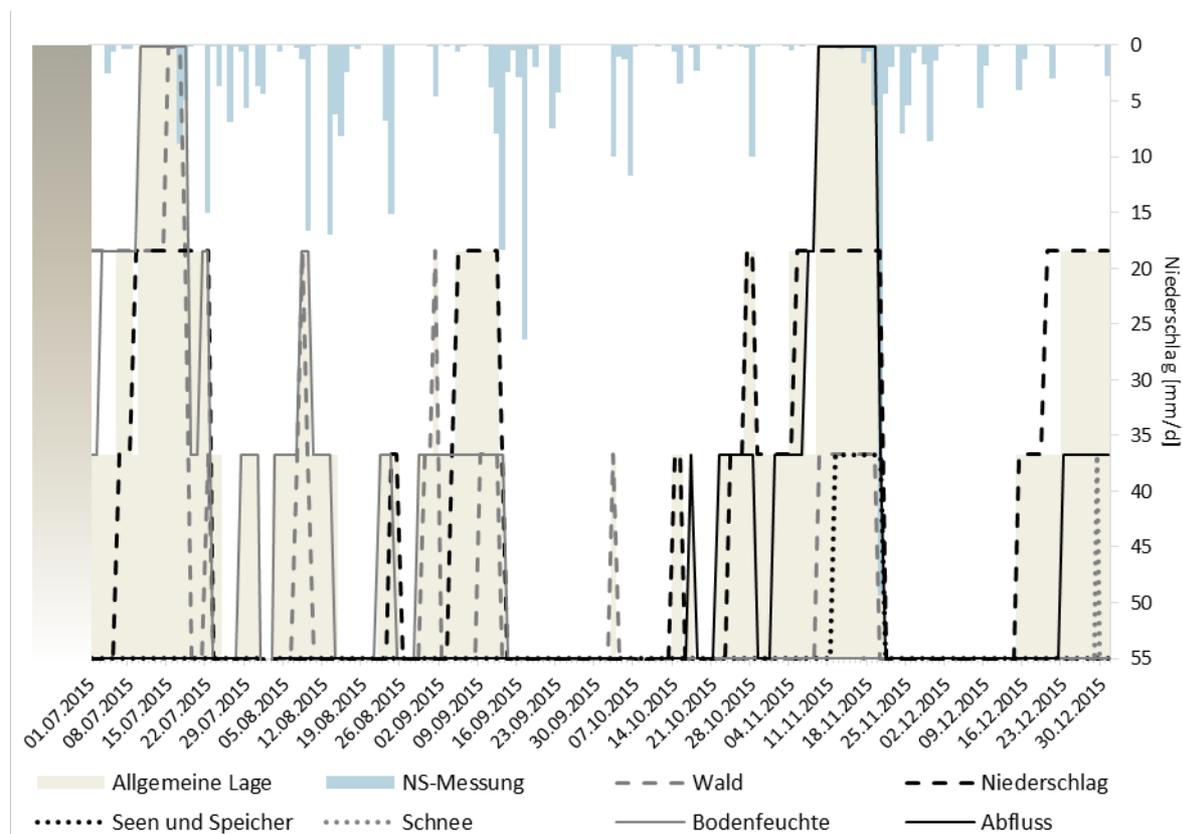


Abbildung 14: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Region Jura.

Anfang Juli zeigte die Bodenfeuchte im Jura ein leichtes Defizit und im Wald herrschte bereits mittlere Trockenheit, während für die allgemeine Lage noch leichte Trockenheit galt. Obschon sich das Bodenfeuchtedefizit verstärkte, zeigte die Region erst mit dem Einsatz des leichten Niederschlagsdefizits mittlere Trockenheit an. Während Niederschlag, Bodenfeuchte und Trockenheit im Wald ein mittleres Defizit, resp. eine mittlere Trockenheit aufwiesen, zeigte die allgemeine Lage trotzdem nur leichte Trockenheit an (vgl. Kap.4.1.2 (ii)). Von Anfang Juli bis Mitte September wurden die Trockenperioden einzig von den Parametern Bodenfeuchte, Niederschlag und Trockenheit im Wald bestimmt. Ab Mitte September bis Ende Jahr wurde kein Bodenfeuchtedefizit mehr registriert. In der ersten Oktoberhälfte kam es zu mehreren kurzen Trockenphasen, welche jeweils nur durch einen einzigen Parameter bestimmt wurden (je einmal Trockenheit im Wald, Niederschlag, Abfluss). Die längste Trockenperiode der Region wurde am 22.10. durch ein Abflussdefizit initiiert. Ab dem 4.11. zeigte die allgemeine Lage mittlere Trockenheit an, welche aus dem leicht unterdurchschnittlichen Abfluss und dem mittleren Niederschlagsdefizit resultierte. Der Rückgang zu leichter Trockenheit am 7.11. kann mit der Entwicklung der einzelnen Kenngrößen nicht erklärt werden (vgl. Kap.4.1.2 (ii)). Am 9.11. setzte leichte Trockenheit im Wald ein und stark unterdurchschnittlicher Abfluss wurde registriert, was zusammen mit dem bestehenden mittleren Niederschlagsdefi-

zeit zu grosser Trockenheit führte. Für die Seen und Speicher wurde am 12.11. erstmals ein leichter Niedrigwasserstand registriert. Die Trockenperiode Mitte Dezember setzte aufgrund des leichten Niederschlagsdefizits ein. Mittlere Trockenheit galt, als am 23.12. zusätzlich ein leicht unterdurchschnittlicher Abfluss verzeichnet wurde. Schliesslich wurde Ende Jahr ein leichtes Schneedefizit angezeigt, was die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage jedoch nicht beeinflusste.

Westliches Mittelland

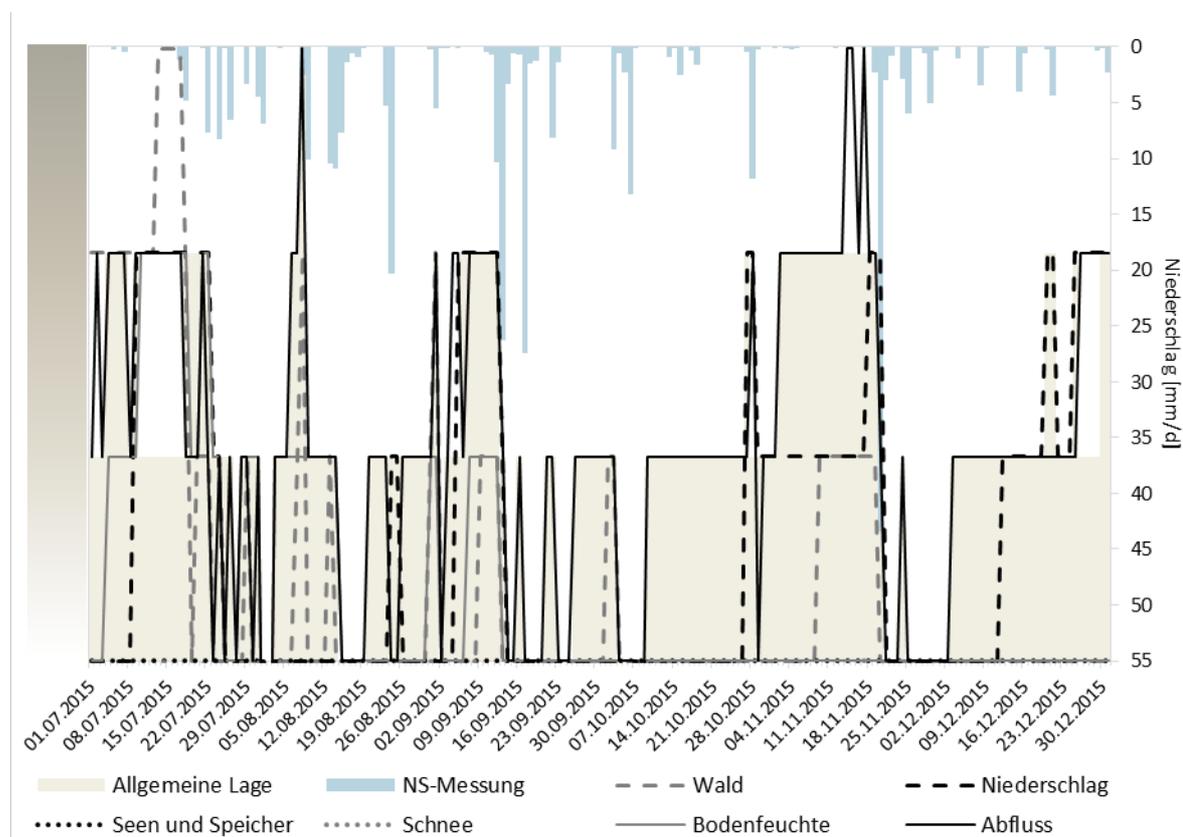


Abbildung 15: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrössen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Region westliches Mittelland.

Alle zehn Trockenphasen des westlichen Mittellands wurden durch leicht unterdurchschnittliche Abflüsse ausgelöst. Nur in einem Fall wirkte gleichzeitig auch ein Bodenfeuchtedefizit. Bei vier der zehn Trockenperioden blieb der Abfluss die einzige trockenheitsrelevante Kenngrösse. Bei den anderen Trockenphasen, welche im Vergleich über eine längere Zeit anhielten, spielten auch der Niederschlag und die Bodenfeuchte oder Trockenheit im Wald eine Rolle.

Mitte Juli, Anfang September und Ende Dezember zeigten mehrere Parameter grössere Defizite an als die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage. Mitte Juli zeigten Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag ein leichtes Defizit und die Trockenheit im Wald erreichte gleichzeitig die höchste Trockenheitsstufe. Dennoch galt für die allgemeine Lage nur

leichte Trockenheit. Während den Trockenperioden von Juli bis September wurden bei den Parametern Bodenfeuchte, Abfluss, Niederschlag und Wald Wasserdefizite verzeichnet. Ab Oktober bis Ende Jahr wurden insbesondere für die Parameter Niederschlag und Abfluss, und einmal auch bei der Trockenheit im Wald, Wasserdefizite registriert. Die Parameter Seen und Speicher und Schnee zeigten während der zweiten Jahreshälfte kein Defizit.

Östliches Mittelland

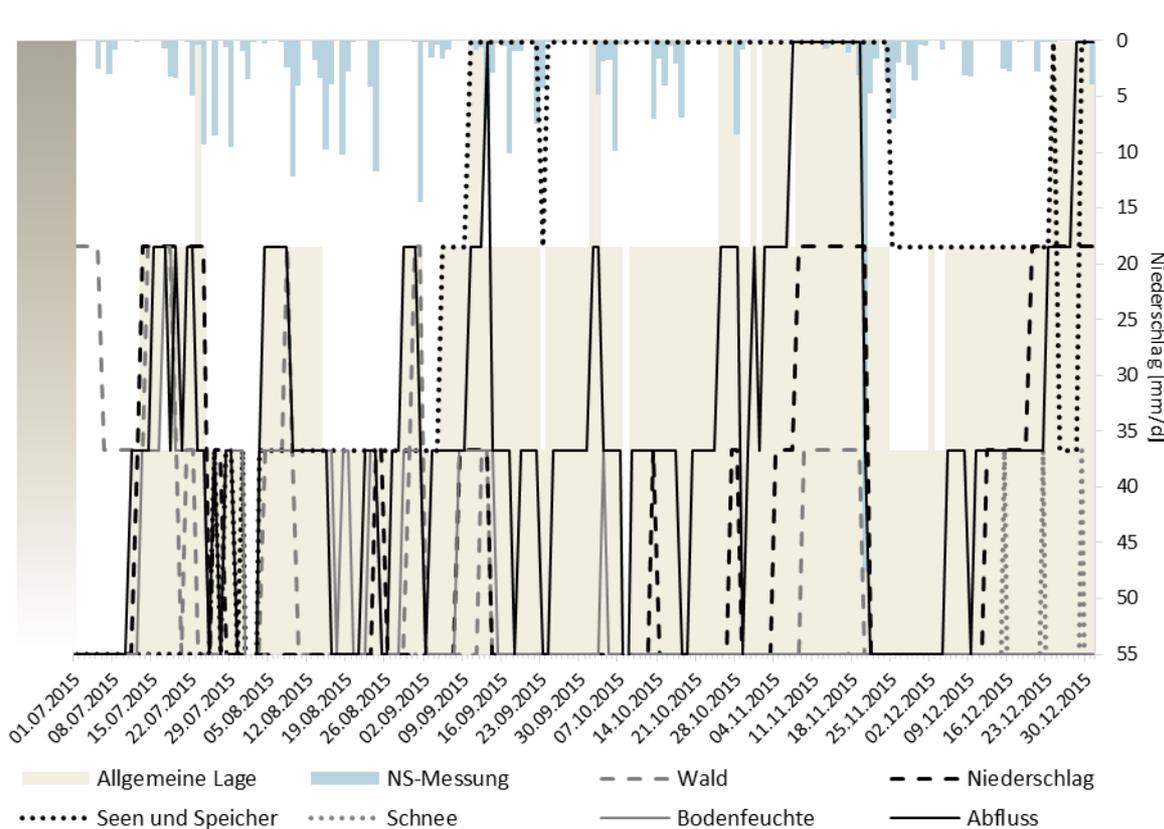


Abbildung 16: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 im östliches Mittelland.

Bereits ab dem 29.6. galt im östlichen Mittelland leichte bis mittlere Trockenheit im Wald. Die anhaltende Trockenphase der allgemeinen Lage wurde jedoch erst mit dem leicht unterdurchschnittlichen Abfluss ab dem 11.7. initiiert. Kurz darauf setzten ein Niederschlagsdefizit und ein leichtes Defizit der Bodenfeuchte ein. Für die Seen und Speicher wurde ab dem 31.7. bis Ende Jahr durchgehend ein Niedrigwasserstand registriert. Der Abfluss hatte während der zweiten Jahreshälfte vermehrt leicht bis stark unterdurchschnittliche Verhältnisse aufgewiesen. Nur Ende November herrschte während zwei Wochen Normalzustand. Niederschlagsdefizite zeigten sich vor allem im Juli, kurz im September, Mitte November und ab Mitte Dezember. Ein Bodenfeuchtedefizit wurde nur von Juli bis September und an einem Tag im Oktober registriert. Ähnlich zeigte sich die Situation der Trockenheit im Wald, welche, mit Ausnahme einer 11-tägigen leichten

Trockenheit im November, vor allem während den Sommermonaten leichte bis mittlere Trockenheit anzeigte. Im September und Oktober waren vorwiegend der unterdurchschnittliche Abfluss und das Niedrigwasser der Seen und Speicher für das Anhalten der Trockenheit verantwortlich. Ein leichtes Schneedefizit wurde ab Mitte Dezember registriert. Auffallend ist, dass die Parameter ab dem 11.7. bis Mitte September eine höhere Variabilität zeigten, als im November und Dezember. Insbesondere für den Abfluss wurden häufiger Wechsel der Defizitstufe registriert, welche auch die Änderungen der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage sichtlich mitbestimmten.

Westliche Voralpen

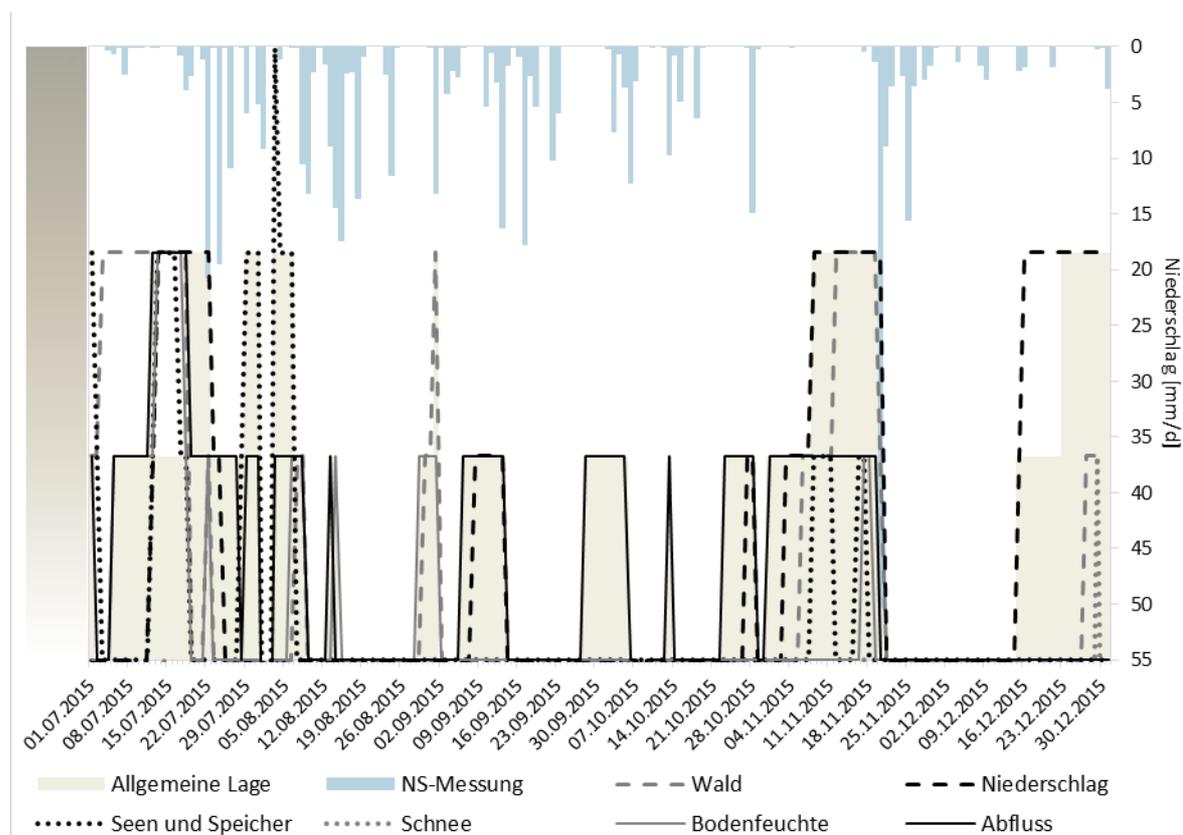


Abbildung 17: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in den westlichen Voralpen.

In den westliche Voralpen zeigte die allgemeine Lage während der zweiten Jahreshälfte neun Trockenphasen an, wovon sieben durch einen leicht unterdurchschnittlichen Abfluss ausgelöst wurden. Auch wenn Anfang Juli bereits mittlere Trockenheit im Wald herrschte, zeigte die allgemeine Lage erst mit dem Einsetzen des Abfluss- und Bodenfeuchtedefizits am 4.7. eine leichte Trockenheit an. Während Mitte Juli alle Parameter ausser Schnee ein mittleres Wasserdefizit aufgewiesen haben, galt für die allgemeine Lage nur an einem Tag mittlere und an den übrigen Tagen leichte Trockenheit. Bis Anfang August wurde die Situation der allgemeinen Lage vorwiegend durch den Niedrigwasserstand der Seen und Speicher und durch das Bodenfeuchtedefizit bestimmt. Ende August waren

die Bodenfeuchte und die Trockenheit im Wald für eine achttägige Trockenphase verantwortlich. Im September und Oktober wurde die Trockenheit durch den leicht unterdurchschnittlichen Abfluss bestimmt. Im November zeigten erneut alle Parameter ausser Schnee ein Defizit an. Im Dezember wurde die Trockenheit durch ein mittleres Niederschlagsdefizit ausgelöst. Eine leichte Trockenheit im Wald und ein leichtes Schneedefizit zeigten sich zusätzlich Ende Jahr.

Östliche Voralpen

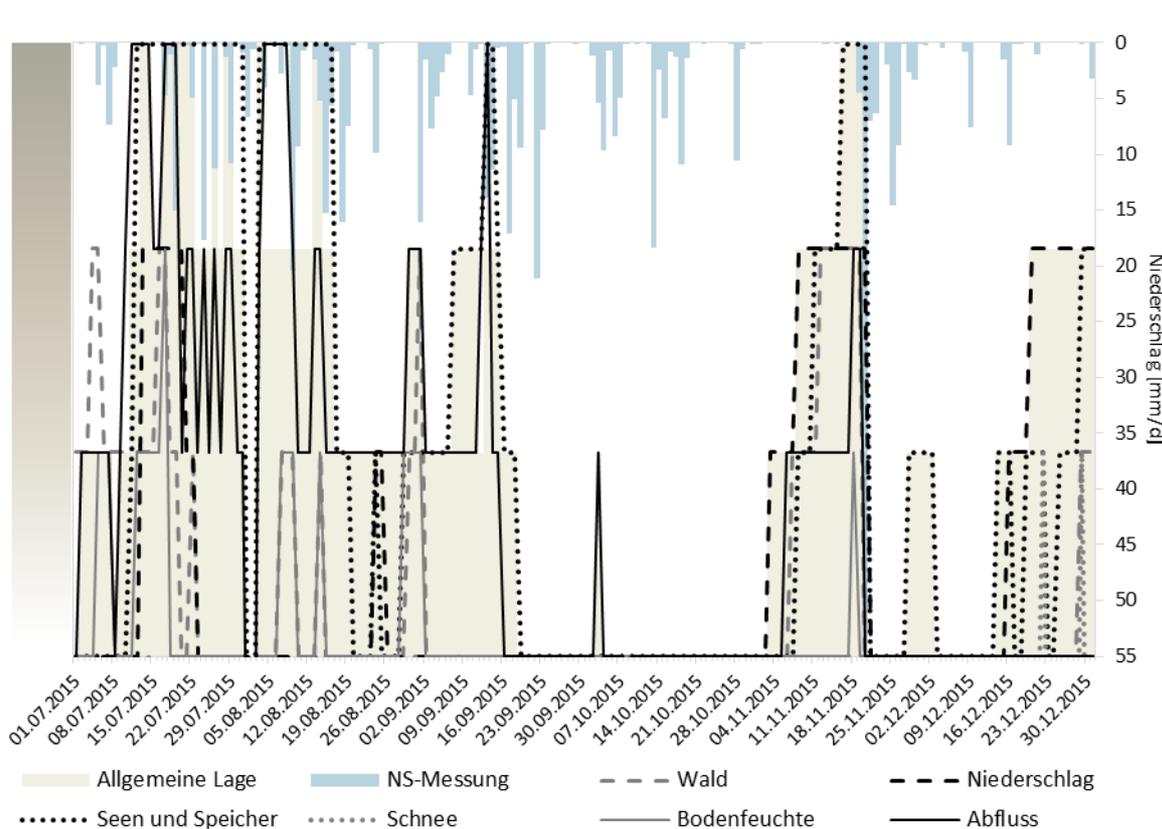


Abbildung 18: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in den östlichen Voralpen.

Anfang Juli setzte die Trockenheit in den östlichen Voralpen erst aufgrund des leicht unterdurchschnittlichen Abflusses ein, obschon im Voraus bereits leichte und mittlere Trockenheit im Wald geherrscht hatten. Während der bis Mitte September anhaltenden Trockenheit zeigten insbesondere der Abfluss und die Seen und Speicher ein Wasserdefizit an, aber auch für alle anderen Parameter ausser Schnee wurden Defizite registriert. Die Variabilität des Abflusses zeigt sich in der Variabilität der Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage wieder. In der ersten Augushälfte fällt auf, dass für die allgemeine Lage lediglich mittlere Trockenheit angezeigt wurde, obwohl die Kenngrößen Seen und Speicher und Abfluss grosse Defizite aufwiesen. Eine ähnliche Situation wiederholte sich Mitte September. Niederschlags- und Bodenfeuchtedefizit sowie die Trockenheit im Wald herrschten insbesondere im Juli vor. Im August und September wurden nur noch verein-

zelt Tage mit entsprechenden Defiziten registriert. Während der Trockenheit im November zeigten alle Kenngrössen ein Wasserdefizit an. Im Dezember hatten die Seen und Speicher einen unterdurchschnittlichen Wasserstand, was für eine erneute Trockenperiode in der Region sorgte. Das Niederschlags- und Schneedefizit verstärkten diese Trockenheit.

Wallis

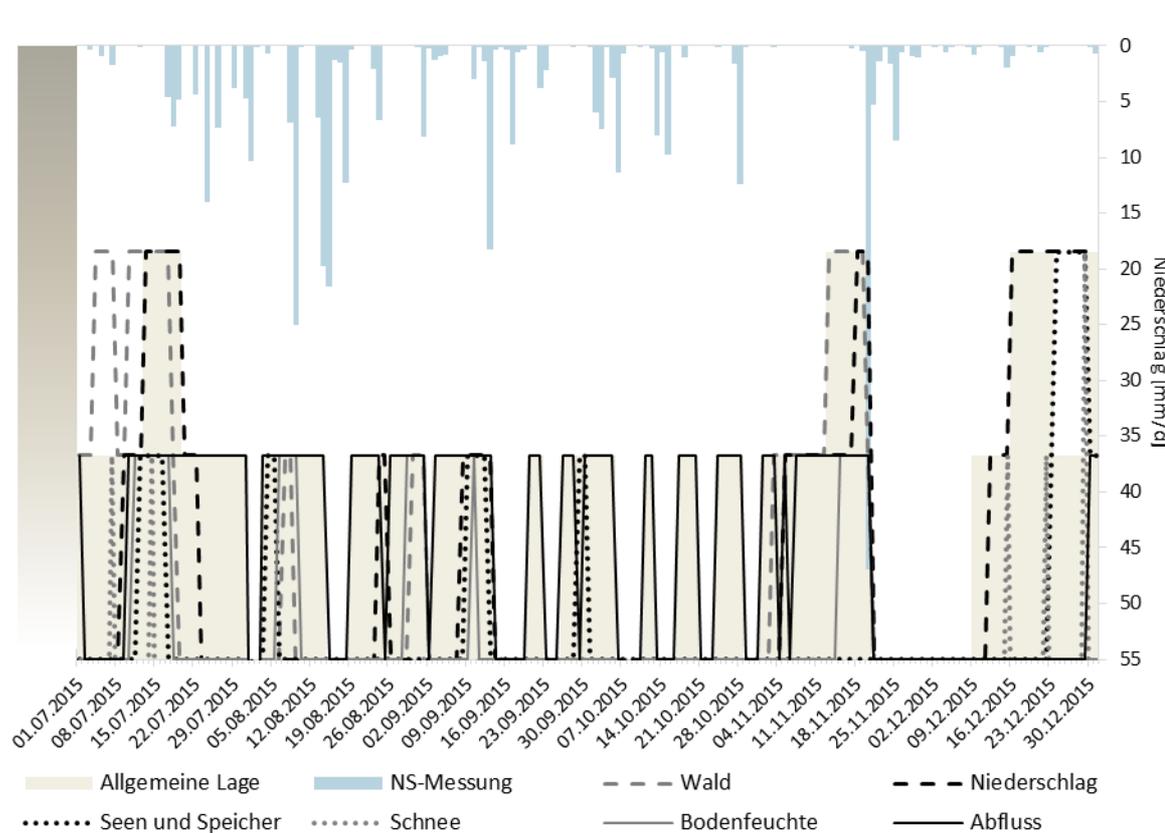


Abbildung 19: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrössen während der zweiten Jahreshälfte 2015 im Wallis.

Bereits ab dem 10.6. herrschte im Wallis aufgrund des Schneedefizits Trockenheit (nicht abgebildet). Ab dem 26.6. wurden zudem unterdurchschnittliche Abflussmengen registriert und ab dem 29.6. zusätzlich Trockenheit im Wald. Während der mittleren Trockenheit im Juli wurden für alle Kenngrössen Wasserdefizite aufgezeichnet. Von August bis Ende Oktober war der Abfluss die ausschlaggebende Kenngrösse, während für Bodenfeuchte, Trockenheit im Wald, Seen und Speicher und Niederschlag nur vereinzelt Defizite registriert wurden. Acht der insgesamt zehn Trockenphasen der zweiten Jahreshälfte setzten aufgrund des unterdurchschnittlichen Abflusses ein. Vier kurze Trockenperioden (2 bis 4 Tage) im September und Oktober hingen ausschliesslich mit dem leicht unterdurchschnittlichen Abfluss zusammen. Während der knapp dreiwöchigen Trockenheit im November zeigten Abfluss, Niederschlag und Wald Wasserdefizite auf. Während den letzten sechs Tagen dieser Trockenheit herrschte zudem ein Bodenfeuchtedefizit. Anfang

Dezember galt für die allgemeine Lage bereits leichte Trockenheit und erst drei Tage später zeigten zunächst der Niederschlag und später auch die Parameter Schnee, Seen und Speicher und Abfluss Defizite an.

Tessin

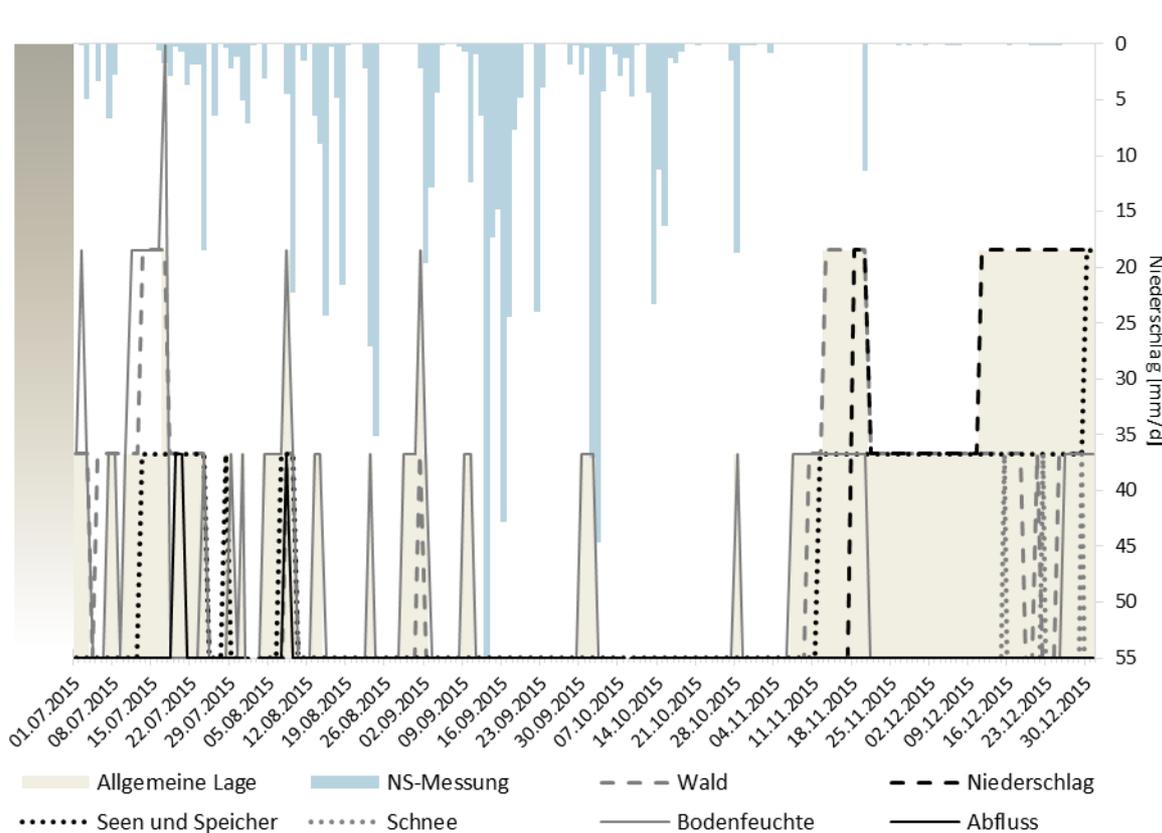


Abbildung 20: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Region Tessin.

Im Tessin wurden von den insgesamt 14 Trockenphasen 11 durch ein Bodenfeuchtedefizit hervorgerufen. Im Juli spielten neben der Bodenfeuchte auch der Zustand des Waldes und der Seen und Speicher eine Rolle. Während der Trockenperiode im Juli korrelierte die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage nicht mit den Zuständen der Kenngrößen. Unklar ist auch, weshalb die allgemeine Lage am 18.7. keine Trockenheit anzeigte, obschon für die Parameter Wald und Seen und Speicher leichte Defizite angezeigt wurden. Ab Mitte August bis Anfang November wurden nur bei der Bodenfeuchte kurzzeitige Defizite registriert (ausser am 1.9. auch eine leichte Trockenheit im Wald). Am 7.11. setzte eine anhaltende Trockenheit ein, welche durch ein Bodenfeuchtedefizit ausgelöst wurde. Trockenheit im Wald und leichter Niedrigwasserstand bei Seen und Speicher wurde ebenfalls seit Beginn der Trockenphase registriert. Am 18.11. setzte erstmals ein Niederschlagsdefizit ein. Ab Mitte Dezember wurde in der Region zusätzlich ein leichtes Schneedefizit verzeichnet.

Nord- und Mittelbünden

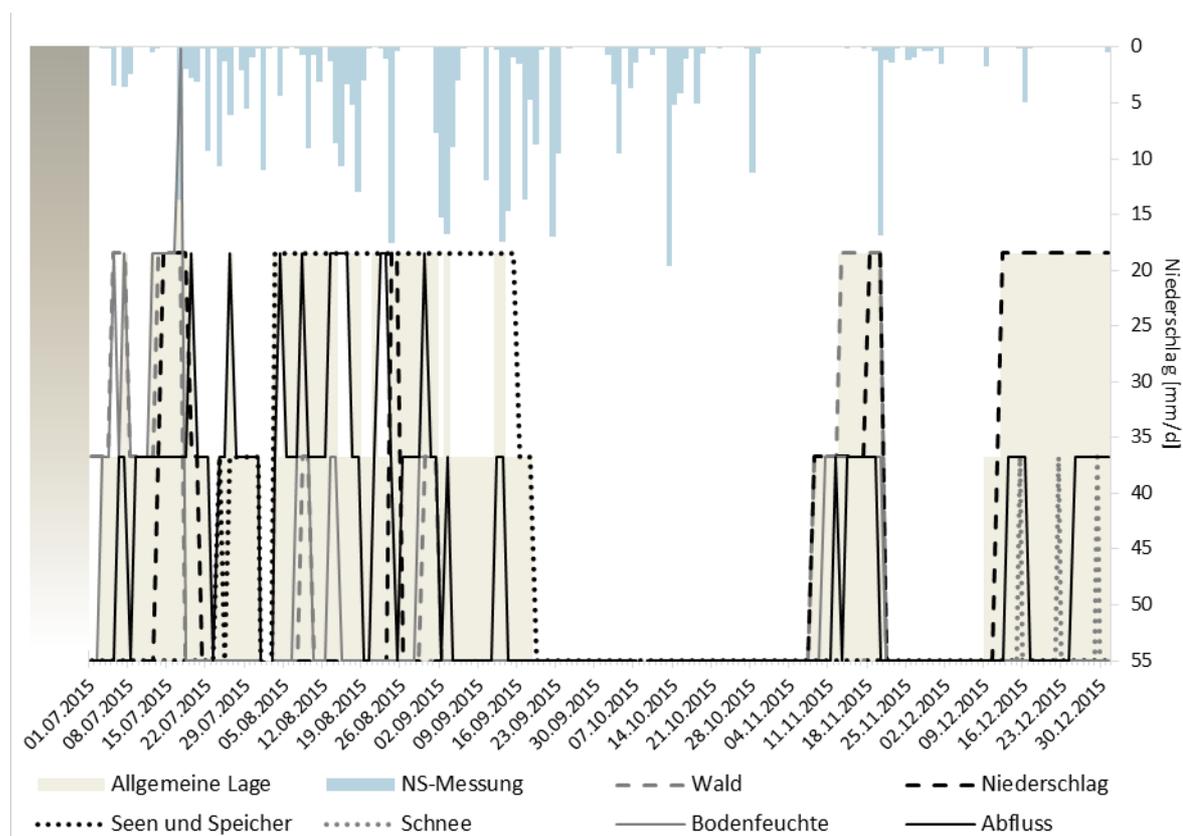


Abbildung 21: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Region Nord- und Mittelbünden.

Ab dem 1.7. herrschte in Nord- und Mittelbünden leichte Trockenheit im Wald. Die allgemeine Lage zeigte erst ab dem 3.7. mit dem Einsetzen des leichten Bodenfeuchtedefizits leichte Trockenheit an. Während den Trockenperioden von Juli bis Mitte September zeigten sämtliche Parameter ausser Schnee Wasserdefizite auf. Auffallend erscheint, dass im August ein anhaltender Niedrigwasserstand der Seen und Speicher angezeigt wurde, während die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage je nach Zustand der anderen Parameter variierte. Im November wurden für Niederschlag, Trockenheit im Wald, Bodenfeuchte und Abfluss ein Defizit registriert. Ab dem 9.12. wurde bei der allgemeinen Lage leichte Trockenheit angezeigt und erst zwei Tage später wurde ein Niederschlagsdefizit notiert. Weiter zeigten auch die Parameter Abfluss und Schnee ein Wasserdefizit an.

Engadin

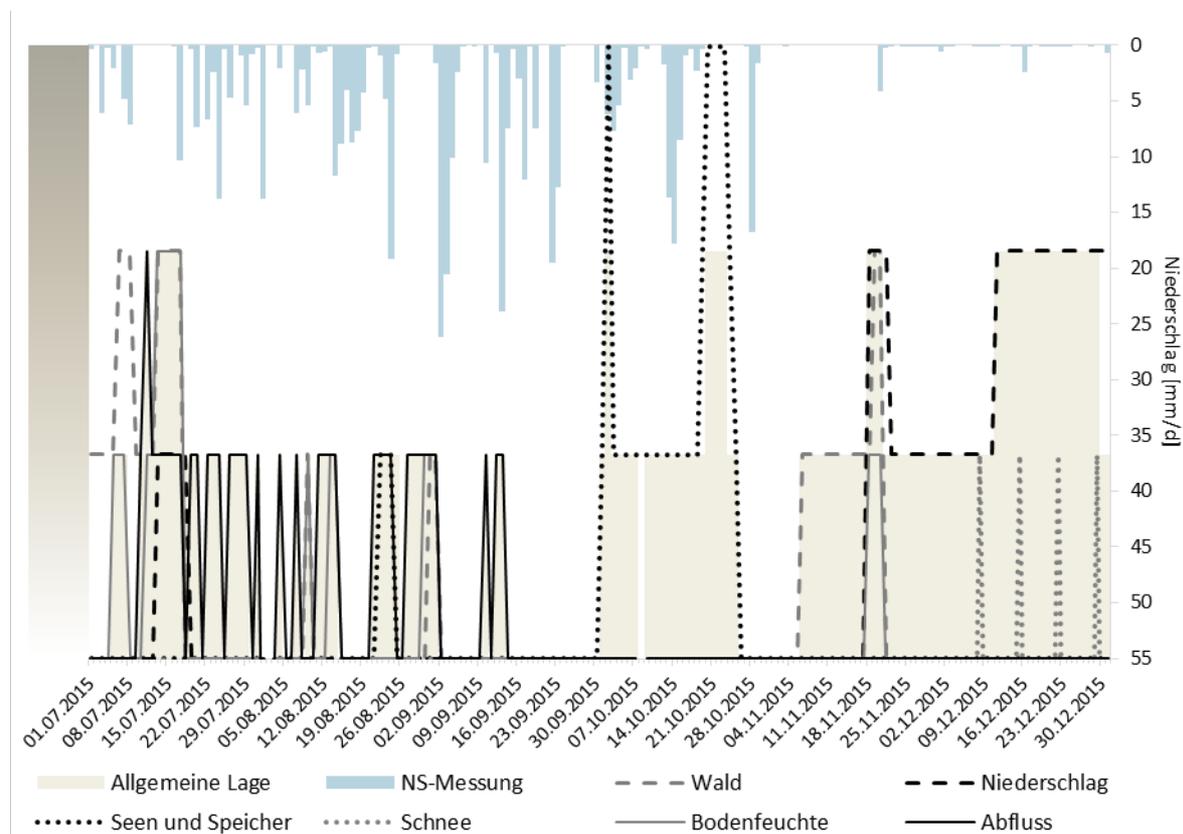


Abbildung 22: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der einzelnen Kenngrößen während der zweiten Jahreshälfte 2015 in der Region Engadin.

Bereits ab Anfang Juli herrschte im Engadin eine leichte Trockenheit im Wald. Als zusätzlich ein leichtes Bodenfeuchtedefizit registriert wurde, zeigte auch die allgemeine Lage eine leichte Trockenheit an. Auch am 8. und 9.7. herrschte in der Region keine Trockenheit, obschon gleichzeitig mittlere Trockenheit im Wald galt. Erst als ein leicht unterdurchschnittlicher Abfluss angezeigt wurde, zeigte die Allgemeine Lage eine leichte Trockenheit an. Ab Mitte Juli bis Ende September ereigneten sich 11 Trockenphasen, welche primär durch die Abflussvariabilität bestimmt wurden. Nur vereinzelt wurde auch ein leichtes Bodenfeuchtedefizit, Trockenheit im Wald oder ein leichter Niedrigwasserstand der Seen und Speicher angezeigt. Niederschlagsdefizite gab es in dieser Zeit keine. Während im Sommer der Abfluss der dominierende Parameter war, wurde ab Mitte September bis Ende Jahr kein Abflussdefizit mehr verzeichnet. Die Trockenheit im Oktober wurde allein durch den leichten bis starken Niedrigwasserstand der Seen und Speicher bestimmt. Anfang November setzte aufgrund der Trockenheit im Wald eine Trockenperiode ein. Auch der Niederschlag und die Bodenfeuchte zeigten im November ein Wasserdefizit und ab Anfang Dezember galt zusätzlich ein Schneedefizit.

Ganze Schweiz

Die über alle Regionen gemittelten Trockenheitsstufen der Kenngrössen Niederschlag, Abfluss, Bodenfeuchte, Trockenheit im Wald und Seen und Speicher während der zweiten Jahreshälfte 2015 sind in Abbildung 23 dargestellt. Zusätzlich wird im Hintergrund die durchschnittliche Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage gezeigt.

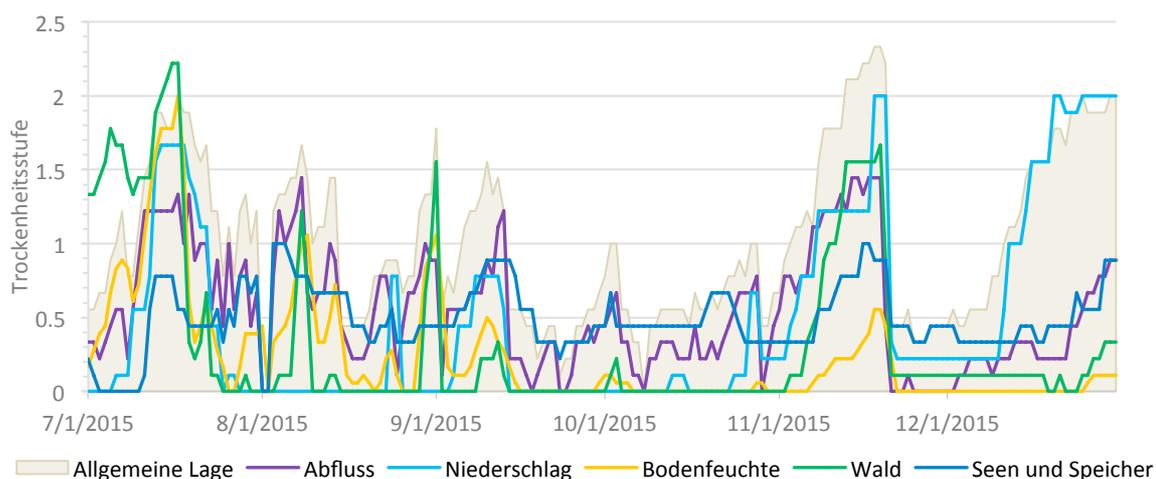


Abbildung 23: Über alle Regionen gemittelte Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der Kenngrössen Abfluss, Niederschlag, Bodenfeuchte, Wald und Seen und Speicher.

Auffallend sind vier Trockenperioden, während denen alle Parameter ein Wasserdefizit aufzeigten. Eine erste entsprechende Trockenheit zeigte sich ab dem 11.7.. Dabei war die durchschnittliche Trockenheit im Wald mit einer Trockenheitsstufe von 2.2 am höchsten, gefolgt von Bodenfeuchte-, Niederschlags- und Abflussdefiziten. Der Wasserstand der Seen und Speicher erreichte lediglich eine durchschnittliche Trockenheitsstufe von knapp 0.8. Auch Mitte September zeigten kurzzeitig alle Parameter ein Wasserdefizit an. Der Abfluss erreichte dabei die höchste Trockenheitsstufe (knapp 1.25) gefolgt von den Parametern Seen und Speicher, Niederschlag, Bodenfeuchte und Trockenheit im Wald. Während der Trockenheit im November zeigten ebenfalls alle Parameter ein Defizit an. Dabei erreichte das Niederschlagsdefizit die für den Niederschlag maximale Stufe 2 (vgl. Kap. 2.3.2). Geringere Defizite zeigten die Kenngrössen Wald, Abfluss und Seen und Speicher. Die Bodenfeuchte, welche im Juli die durchschnittliche Trockenheitsstufe 2 erreichte, zeigte im November lediglich eine durchschnittliche Trockenheitsstufe von höchstens 0.5 an. Ende Dezember ereignete sich eine dritte Phase, in der alle Parameter einen Wassermangel aufgewiesen hatten. Dabei war das Niederschlagsdefizit mit Abstand am grössten. Das Abflussdefizit und der Niedrigwasserstand der Seen und Speicher erreichte die Stufe 0.9. Noch geringer waren die durchschnittliche Trockenheit im Wald und das Bodenfeuchtedefizit.

Zwischen dem 15.9. und dem 24.10. zeigten vor allem die Parameter Abfluss und Speicher und Seen unterdurchschnittliche Wassermengen an. Nur bei der Kenngrösse Seen

und Speicher wurde ab dem 11.7. bis Ende Jahr ein durchgehendes Wasserdefizit registriert. Auch für den Abfluss wurde während der zweiten Jahreshälfte nur an vereinzelten Tagen und Anfang Dezember kein Defizit angezeigt. Im Juli wurde ein erstes Niederschlagsdefizit angezeigt, weitere folgten Ende August und Anfang September. Ab dem 24.10. bis Ende Jahr kann ein anhaltendes Niederschlagsdefizit beobachtet werden. Im Gegensatz dazu zeigte die Bodenfeuchte von Juli bis Mitte September beinahe durchgehend ein Wasserdefizit an. Während dem letzten Quartal spielte die Bodenfeuchte jedoch nur noch eine untergeordnete Rolle (Ausnahme im November). Trockenheit im Wald zählte insbesondere im Juli zu den relevanten Kenngrößen. Im August und September zeigte die durchschnittliche Trockenheit im Wald nur noch während zwei- bis sechstägigen Phasen Trockenheitsstufen von maximal 1.5 an. Im November nahm die durchschnittliche Trockenheit im Wald erneut deutlich zu.

Werden die durchschnittlichen Trockenheitsstufen je Parameter nach Region aufgelöst betrachtet, so fällt auf, dass in den verschiedenen Regionen unterschiedliche Kenngrößen mehr oder weniger relevant waren (Abbildung 24). Im westlichen Mittelland, Wallis und Engadin zeigte der Abfluss im Durchschnitt die grössten Defizite. Im Jura und in den westlichen Voralpen wurden für den Niederschlag die durchschnittlich stärksten Defizite registriert. Im Tessin war die Trockenheit im Wald die bedeutendste Kenngrösse, während kaum ein Abflussdefizit registriert wurde (durchschnittliche Trockenheitsstufe 0.02, nicht abgebildet). In den Regionen östliches Mittelland, östliche Voralpen und Nord- und Mittelbünden war der Niedrigwasserstand der Seen und Speicher die Kenngrösse mit der höchsten durchschnittlichen Trockenheitsstufe, gefolgt vom Parameter Abfluss.

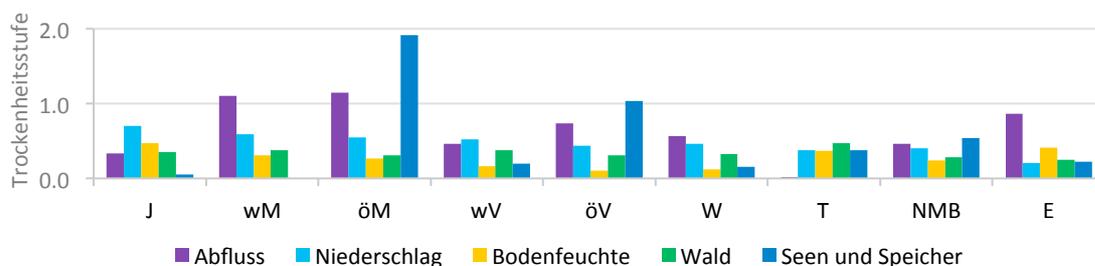


Abbildung 24: Durchschnittliche Trockenheitsstufe je Parameter und Region während der zweiten Jahreshälfte 2015.

Dass die Relevanz der verschiedenen Parameter je nach Region variiert hängt mit den unterschiedlichen Eigenschaften der Regionen zusammen. Denn die räumlich-zeitlichen Ausprägungen einer Trockenheit hängen stark von den Eigenschaften eines Gebiets ab. Dabei spielen insbesondere Geologie, Landnutzung, Bodentyp, Vegetation sowie Geländeeigenschaften eine wichtige Rolle (van Lanen et al., 2004). Dies wird hier beispielsweise für den Parameter Abfluss erkenntlich. In Regionen, welche verbreitet abflusswirksame Gebiete (z.B. steile Hänge, undurchlässiges Felsgestein etc.) mit geringem Basisabfluss umfassen, reagiert der Abfluss schneller auf Niederschlagsanomalien als in Regionen mit

ausgeprägtem Basisabfluss (Van Lanen et al., 2004). Demzufolge wird in abflusswirksamen Regionen ein Abflussdefizit häufiger registriert, als der Wassermangel eines anderen Parameters und weist zudem eine hohe zeitliche Variabilität auf (siehe Wallis und Engadin). Das Gegenteil kann in Regionen mit geringerer Abflusswirksamkeit und ausgeprägter Infiltration beobachtet werden (siehe Jura; Spreafico & Weingartner, 2005). In Regionen mit ausgeprägtem Basisabfluss zeigen Abflussdefizite eine geringere Variabilität und eine längere Dauer (Van Lanen et al., 2004). Das Mittelland kann als solche Region betrachtet werden. Tatsächlich konnten in diesen Regionen langanhaltende Abflussdefizite beobachtet werden, weshalb der Abfluss im Vergleich zu den anderen Parametern im westlichen und östlichen Mittelland am häufigsten, resp. zweithäufigsten, ein Defizit anzeigte.

4.1.4 Fazit

Während der zweiten Jahreshälfte 2015 erlebte die Schweiz mehrere Phasen ausgeprägter Trockenheit. Während einer ersten Trockenphase von Juli bis September wurden in allen Regionen häufige Wechsel der Trockenheitsstufen keine bis grosse Trockenheit angezeigt. Insbesondere im Engadin und im Tessin, aber auch in den übrigen Regionen, war die Variabilität der Trockenheitsereignisse von Juli bis September grösser als im letzten Quartal 2015. Im Engadin wurden die kurzzeitigen Trockenperioden durch Abflussdefizite und im Tessin durch Bodenfeuchtedefizite hervorgerufen. Von Juli bis Ende Oktober wurden immer wieder Niederschläge beobachtet, so dass sich nur kurzzeitige Niederschlagsdefizite entwickeln konnten und entsprechend die Wasserdefizite der anderen Parameter meist nur einige Tage, selten mehr als eine Woche, dauerten. Dies erklärt schliesslich auch die hohe Variabilität der Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage in den verschiedenen Regionen. Überdurchschnittlich trocken war es im Juli und August in den östlichen Voralpen, was vor allem durch das Abflussdefizit und den Niedrigwasserstand der Seen und Speicher bedingt wurde.

Die zweite überregionale Trockenperiode zeichnete sich in der Westschweiz und im Mittelland bereits Anfang Oktober ab. Nach und nach setzte sich der Trend in den Voralpen und im Wallis fort, bis Anfang November auch in der Südost- und Ostschweiz zunächst leichte, später mittlere bis grosse Trockenheit einsetzte. Bis zum 20.11. entwickelte sich in der ganzen Schweiz eine mittlere bis grosse Trockenheit. Neben einem ausgeprägten Niederschlagsdefizit hatten im November auch alle neun Regionen Trockenheit im Wald angezeigt. Die verbreiteten Starkniederschläge vom 20.11. brachten das Ende dieser Trockenperiode. Im Tessin und Engadin führten die geringeren Niederschlagsmengen lediglich zur Entspannung der Situation. Im östlichen Mittelland kompensierten die Niederschläge vom 20.11. das Abfluss- und Niederschlagsdefizit, sowie die Trockenheit im Wald, jedoch hielt der Niedrigwasserstand der Seen und Speicher weiter an.

Eine dritte schweizweite Trockenphase entwickelte sich ab Anfang Dezember. Zunächst zeichnete sich die Trockenheit in den südlichen Regionen der Schweiz ab und betraf bis Ende Dezember zunächst die Voralpen und schliesslich auch das Mittelland und den Jura. Während sich die Trockenheit im November eher von Nordwesten Richtung Südosten ausbreitete, zeigte die Trockenheit im Dezember eine entgegengesetzte Ausbreitung. Jedoch ist den beiden Ereignissen, im Gegensatz zu den Trockenphasen im Sommer, die sich kontinuierlich verstärkende Trockenheit gemein. Im Dezember sorgten ausgeprägte Niederschlagsdefizite, kombiniert mit Abflussdefiziten und Niedrigwasserständen der Seen und Speicher, für eine bis Anfang 2016 anhaltende Trockenperiode.

Die Trockenheitsereignisse im Juli und August zeigten geringere Intensitäten als die Trockenheit im November und Dezember. Schweizweit zeichnete sich der Dezember als im Durchschnitt trockenster Monat der zweiten Jahreshälfte 2015 ab. Besonders aussergewöhnlich war die Situation im östlichen Mittelland. Hier wurde ab dem 11.7. bis Ende 2015 eine anhaltende Trockenheit registriert. Während sich die Trockenheit in anderen Regionen zwischenzeitlich entspannte (z.B. Ende August, Oktober, Ende November, Anfang Dezember), kam es im östlichen Mittelland aufgrund der weiterhin herrschenden Abflussdefizite und Niedrigwasserstände der Seen und Speicher zur Vereinigung (*Pooling*) der Phasen grosser Trockenheit. Dieser Effekt konnte nur in der Region östliches Mittelland beobachtet werden. Hingegen zeigte sich die trockenheitsverlängernde Wirkung (*Lengthening*) der Wasserdefizite der Seen und Speicher in allen Regionen der Ostschweiz. Die verzögerte Auswirkung der Trockenheit (*Lag*) auf Speicher und Seen konnte in allen Regionen (vgl. Abbildung 24) beobachtet werden. Demnach können die Darstellungen auf drought.ch der Eigenschaft der Persistenz langanhaltender Trockenheit gerecht werden.

Bodenfeuchtedefizite wurden während der Trockenperiode von Juli bis September in allen Regionen registriert. Im November und Dezember wurden nur noch im Wallis, Tessin und Graubünden Bodenfeuchtemängel angezeigt. Dass in den übrigen Regionen kein Bodenfeuchtedefizit angezeigt wurde, kann mit den beobachteten Niederschlagsdaten nicht erklärt werden (vgl. Meteorologische Situation; Karten im Anhang 3). Jedoch sind im Flachland der Alpennordseite während den Herbst- und Wintermonaten Nebel und Taubildung verbreitete Phänomene (Scherrer & Appenzeller, 2013), welche sich auch positiv auf die Bodenfeuchte auswirken können. Dazu kommt die im Herbst geringere Evapotranspiration, welche die Bodenfeuchte ebenfalls positiv beeinflusst (Robock et al., 2000). Dass während dem letzten Quartal 2015 schweizweit weniger häufig Bodenfeuchtedefizite angezeigt wurden, hängt auch damit zusammen, dass der Schwellenwert, welcher bestimmt, wann auf drought.ch ein Bodenfeuchtedefizit angezeigt wird, angepasst wurde.

Die Betrachtung der Variabilität und der durchschnittlichen Trockenheitsstufe je Parameter und Region zeigte, dass sich die regionsspezifischen Eigenschaften auf die Zuteilung der Trockenheitsstufen auswirken. Die Darstellungen auf `drought.ch` geben den Zusammenhang der Eigenschaften einer Region und den trockenheitsrelevanten Parameter wieder.

Weitere sich wiederholende Muster oder eindeutige Prozessketten, welche der typischen Entwicklung einer Trockenheit entsprechen, konnten anhand der Analyse der Trockenheitsstufen der verschiedenen Parameter nicht erkannt werden. Die Idee, dass ein Niederschlagsdefizit eine Trockenheit auslösen kann, ist weit verbreitet (Van Loon, 2015). Auch der anthropogene Einfluss auf den hydrologischen Kreislauf kann eine Trockenheit begünstigen oder hervorrufen (Wada et al., 2013; Van Loon et al., 2016). Bei den analysierten Ereignissen konnte der Niederschlag nur vereinzelt als Auslöser einer Trockenphase bestimmt werden. Ob dies an der Methode der Trockenheitssimulation, an der Aufbereitung und Darstellung der Informationen, oder aber an den anthropogenen Einflüssen liegt, kann nicht beurteilt werden. Jedoch fällt auf, dass die simulierten Trockenperioden häufiger aufgrund eines Abfluss- oder Bodenfeuchtedefizits einsetzen, als wegen eines registrierten Niederschlagsdefizits.

Bei der Analyse der Trockenheitsstufen der verschiedenen Parameter ist aufgefallen, dass der Zusammenhang zwischen den Trockenheitsstufen der Parameter und der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage, insbesondere bei räumlich ausgedehnten Ereignissen mit mittlerer bis grosser Trockenheit, nicht immer nachvollziehbar ist. Anfang bis Mitte Juli war die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage in allen Regionen ausser im Jura tiefer, als die durchschnittliche Trockenheitsstufe der Parameter (Abbildung 25). Im Mittelland, in den westlichen Voralpen und im Engadin wich die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage bis zu zwei Trockenheitsstufen von der durchschnittlichen Trockenheitsstufe der Parameter ab. Während der schweizweiten Trockenperiode im November war die Situation gerade umgekehrt. In sämtlichen Regionen war die durchschnittliche Trockenheitsstufe der Parameter geringer als die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage. In der Region Jura wurde während der zweiten Jahreshälfte bei 85% aller Tage mit Trockenheit eine höhere Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage angezeigt als die durchschnittliche Trockenheitsstufe der Parameter. Insbesondere wenn mittlere oder grosse Trockenheit herrschte, war die durchschnittliche Trockenheitsstufe der Parameter bis über eine Trockenheitsstufe tiefer. Aufgrund der fehlenden Daten bleibt unklar, ob Grundwasserdefizite diese Differenz der Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der Trockenheitsstufen der Parameter erklären könnte.

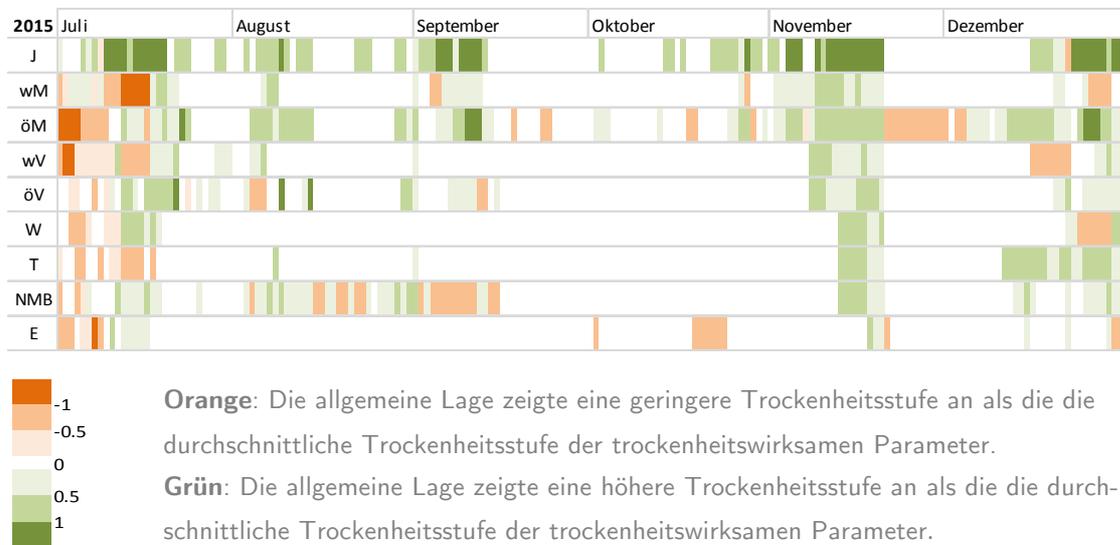


Abbildung 25: Differenz der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage und der durchschnittlichen Trockenheitsstufen der trockenheitsrelevanten Parameter je Region.

In der Region Nord- und Mittelbünden fielen Mitte August die kurzzeitig wechselnden Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage auf (vgl. Kap. 4.1.2; (iii)). Analog dazu variierte in dieser Zeit die Differenz der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage und der durchschnittlichen Trockenheitsstufe der Parameter zwischen -1 und +0.5 (Abbildung 25). Während die allgemeine Lage leichte Trockenheit anzeigte, lag die Differenz bei -1 und an Tagen mit mittlerer Trockenheit betrug die Differenz +0.5. Dies zeigt, weshalb diese Schwankungen der Trockenheitsstufen nicht mit den Niederschlagsmessungen erklärt werden konnten. Die auffälligen Trockenheitsstufenwechsel im Jura (Juli, November; vgl. Kap. 4.1.2 (ii)) konnten ebenfalls weder mit den Niederschlagsmessungen, noch mit Wasserdefiziten der verschiedenen Parameter erklärt werden. Auch hier zeigt der Vergleich der Differenz der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage und der durchschnittlichen Trockenheitsstufe der Parameter, dass die Stufenwechsel der Trockenheit mit negativen und deutlich positiven (> 1) Differenzen zusammenhängen. Demzufolge können die auffälligen und für Trockenheit untypischen Muster mit der scheinbar inkonsequenten Zuordnung der Trockenheitsstufen, welche möglicherweise aus Rundungsfehlern oder aus der unterschiedlichen Gewichtung der Parameter resultieren, erklärt werden.

Die Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage werden auf den Informationen zur aktuellen Situation der trockenheitswirksamen Parameter basierend automatisch generiert. Insofern stellt sich die Frage ob ein fehlerhafter Algorithmus, die beschriebenen Differenzen erklären könnte. Gleichzeitig muss jedoch bedacht werden, dass `drought.ch` laufenden Verbesserungen unterliegt, was möglicherweise die aufgezeigten Differenzen partiell mitverursacht hat. Weiter zeigte sich, dass kurzzeitig wechselnde Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage durch die teilweise täglich schwankenden Abflussdefizite verursacht wurden (Bsp. wM, öM, öV, W, E). Dabei stellt sich die Frage, ob die Variabilität des Abflusses bei der Zuteilung der Trockenheitsstufen zu stark berücksichtigt wird.

4.2 Hitze und Trockenheit in den Schweizer Medien Synthesebericht

«Rekordverdächtige zweite Jahreshälfte 2015»⁶

In der zweiten Jahreshälfte 2015 war es in der Schweiz stellenweise so trocken wie noch nie seit Beginn der systematischen Niederschlagsmessungen vor gut 150 Jahren (FN & SRF 16.12.). Fast überall auf der Alpennordseite konnte das zweite Halbjahr 2015 zu den fünf trockensten gezählt werden (SRF 16.12.). Schon Ende Juni wurde in den Medien eine mehrtägige Hitzewelle angekündigt (NZZ 30.06.). In den darauf folgenden Wochen wurden in den Berichten die hohen Temperaturen immer wieder thematisiert. Scheinbar jedem ersehnten Regenereignis, wenn auch nur lokal, wurde ein Artikel gewidmet. Auch die negativen Auswirkungen des schönen Wetters und der anhaltende Hitze wurden an die Öffentlichkeit gebracht. Ab und an fiel das Wort Trockenheit, meistens im Zusammenhang mit der Landwirtschaft. Dass sich Trockenheit auch in anderen Bereichen auswirkt wurde in den Schweizer Medien im Verlaufe des Jahres immer deutlicher.

4.2.1 Chronologischer Überblick der Ereignisse

Juli - «Droht Trockenheit?»

«Es wird heiss» wurde Ende Juni verkündet und gleichzeitig vor einer Hitzewelle gewarnt. Das Hoch «Annelie» war der Grund für die aussergewöhnlich hohen Temperaturen in der Schweiz (NZZ 5.7.). Während einer ersten Hitzewelle vom 1. bis 7.7. stiegen die Temperaturen vielerorts deutlich über 30 °C. Auf der Hitzegefahren-Karte des Bundes wurden die Gefahrenstufen bereits am zweiten Tag der Hitzewelle schweizweit von 4 auf die Höchsthstufe 5 erhöht. Zusammen mit den Hitzewarnungen wurden auch Verhaltenstipps für die anstehenden Extremtemperaturen publiziert (NZZ 6.7.). Der Sommer 2015 erinnerte viele schon bald an den legendären Jahrhundertssommer 2003. Die Erinnerungen waren aber nicht nur positiver Dinge. Auch die Zahl der Hitzetoten von damals wurde erneut veröffentlicht (TB 5.7., NZZ 6.7.). In einigen Städten südlich und nördlich der Alpen fielen die Temperaturen auch nachts nicht mehr unter 20 Grad, so dass man von einer Tropennacht sprechen konnte (NZZ 2.7.). «Droht Trockenheit?» wurde am 8. Juli gefragt. Das langzeitige Ausbleiben der Niederschläge löste erste Bedenken aus, denn auch weiterhin war kaum Regen in Sicht (SB, SRF 7. & 8.7.). Bereits am 14.7. wurde

⁶ FN 16.12.2015, Die in den Quellenangaben verwendeten Abkürzungen beziehen sich auf folgende Medien: 20 Min = 20 Minuten, APZ = Appenzeller Zeitung, AZ = Aargauer Zeitung, B = Blick, BAFU = Bundesamt für Umwelt, BaZ = Basler Zeitung, BZ = Berner Zeitung, FN = Freiburger Nachrichten, HZ = Handelszeitung, LB = Landbote, NLZ = Neue Luzerner Zeitung, NZZ = Neue Zürcher Zeitung, SB = Schweizer Bauer, SGTB = St. Galler Tagblatt, SO = Südostschweiz, TA = Tagesanzeiger, TB = Tagblatt, TdG = Tribune de Geneve, WW = Weltwoche, ZSZ = Zürichsee Zeitung, ZU = Zürcher Unterländer, Z+ = zentralplus.

erneut vor einer erneuten Hitzewelle gewarnt. Die Luftmassen subtropischen Ursprungs erreichten am 15.7. zunächst das Tessin, dann das Zentralwallis und schliesslich auch die Alpennordseite (NZZ 12. & 14.7.). Die Gewitter vom 18.7. brachten zwar etwas Abkühlung, aber nur wenig Niederschlag. Der zweiten Hitzewelle wurde erst am 22.7. mit lokalen Sturmböen, Hagel und grossen Regenmengen ein Ende gesetzt. Die Temperaturen sanken daraufhin auf 23 bis 26 °C (NZZ, 20Min 22.7.). Vom 22.6. bis 22.7. hatte es auf der Alpennordseite nie flächenhaft geregnet. Eine so langanhaltende Trockenperiode ist etwas Aussergewöhnliches und hatte es seit dem Sommer 2003 nicht mehr gegeben (NZZ 22.7., SB 15.7.).

Wegen der anhaltenden trockenen Hitze nahm die Waldbrandgefahr bis Mitte Juli schweizweit kontinuierlich zu. Bis zum Ende der ersten Hitzewelle herrschten im Wallis und in Teilen der Kantone Bern und Jura die höchste Gefahrenstufe «sehr gross». In der Nordwestschweiz, in Teilen der Westschweiz und des Kantons Graubünden sowie im Südtessin galt grosse Waldbrandgefahr. In den übrigen Regionen herrschte mässige oder erhebliche Waldbrandgefahr. Der ausbleibende Regen kombiniert mit Föhn oder Bise trocknete Böden und auch Waldböden und Unterholz aus, so dass die Waldbrandgefahr weiter anstieg (20 Min 9.7., TB 10. & 14.7., NZZ 14.7., TdG & SGTB 14.7., SB, SGTB, BZ & BAFU 15.7., Z+ & SB 16.7., NZZ 17.7., BZ 18.7.). Am 22.7. herrschte in der ganzen Schweiz, mit Ausnahme von Genf, erhebliche bis sehr grosse Waldbrandgefahr (NZZ 22.7.). Da nur langanhaltender Niederschlag eine Minderung der Waldbrandgefahr herbeiführen konnten, musste mit einem Verbot von 1. August-Feuerwerken und Höhenfeuern gerechnet werden. In den Kantonen Bern, Freiburg und Genf kam es vereinzelt zu Waldbränden und auch vertrocknete Felder gerieten in Brand (Abbildung 26; 14.7. NZZ, 20Min 17. & 20.7.).

Die gemessenen Wassertemperaturen stiegen schon Anfang Juli über 20 °C, sodass das relativ kühle Nass für viele eine willkommene Abkühlung war (NZZ 5.7.). Die Städtischen Sommerbäder waren heiss begehrt und zählten hohe Besucherzahlen. Die negativen Folgen des verbreiteten Badespasses liessen sich an der erhöhten Anzahl Badeunfälle ablesen: bis zum 16.7. waren bereits 26 Menschen ertrunken (20 Min 16.7.). Während sich die Fische Anfang Juli noch in tiefere und kühlere Gewässer zurückziehen konnten, machten sich die Folgen der Hitze in anderen Sektoren bereits deutlich bemerkbar. Im Bahnverkehr kam es zu Gleisverwerfungen, so dass die Passagiere auf Bahnersatzbusse umsteigen mussten (unter anderem im Laufental, bei der Jungfraubahn und auf der Strecke Chur-Arosa) (NZZ 7.7., SO 8.7.). Die weiter anhaltende Hitze hatte jedoch zur Folge, dass sich insbesondere kleine Seen stark erwärmten und Wassertemperaturen von bis zu 29 °C erreichten. Auch in Weihern und Flüssen erwärmte sich das Wasser im Verlaufe des Julis auf für Fische kritische Temperaturen. Hohe Wassertemperaturen und damit verbundener Sauerstoffmangel bedeuten für Äschen, Felchen und Forellen den Tod. Auch

die Wassermenge ist für das Überleben der Fische entscheidend. Im Berner Oberland mussten wegen zu tiefem Wasserstand einige Bachabschnitte evakuiert werden (B 19.7., BZ 23.7.). In Vogelauffangstationen herrschte Hochbetrieb. Viele Jungvögel, welche aufgrund der sehr hohen Temperaturen aus ihren Nestern flüchteten, verletzten sich und mussten gepflegt werden (TA 23.7.). Die Hitze und Trockenheit machte auch den Igel zu schaffen, welche kaum noch Wasser und Futter fanden, weshalb auch in den Igelauffangstationen die Arbeit nicht ausging (20Min 21. & 22.7., AZ 5.8.).



Abbildung 26: Waldbrand bei Alfermee (BE) (o.l., NZZ 14.05.2015), Armeehelikopter transportierten das Wasser aus nahen Seen zu den Becken auf den Waadtländer und Freiburger Alpen. Die anschliessende Feinverteilung erfolgte durch die Landwirte. (o.r., SB, 22.07.2015), aufgegebenes Kartoffelfeld bei Wichtrach (BE) (u.l., BaZ 25.07.2015), Bewässerung der Gemüsegelder im Grossen Moos (Seeland; u.r.; NZZ 13.07.2015).

Noch während der ersten Hitzewelle waren bereits zwei Drittel der Gersten-Felder gedroschen (SB 5.7.). Infolge der anhaltenden Trockenheit konnte der Weizen ohne Zeitdruck und rund zwei Wochen früher als gewöhnlich geerntet werden. Zudem musste das Getreide nicht zusätzlich getrocknet werden und die Verbreitung von Pilzen wurde dank der Trockenheit unterdrückt. Hingegen konnten sich wegen der Trockenheit nicht alle Körner gut ausbilden. Die Landwirte erfreuten sich dennoch der guten Weizenqualität, doch fiel die Quantität etwas geringer aus als im Jahr zuvor (FN 3.8.). Dank dem heissen Wetter konnten die Landwirte Anfang Juli eine überdurchschnittlich gute erste Heuernte einfahren. Hingegen litt der zweite Aufwuchs unter der Trockenheit und so musste auf eine ertragsreiche Emd im Herbst gehofft werden. Auch den Zuckerrüben- und Maiskulturen bekamen die Wetterbedingungen weniger gut. Die Qualität dieser Kulturen war

zwar weniger anfällig als die der Kartoffel, aber die Ertragsmengen waren dennoch geringer als erwartet. Die Trockenheit forderte die Landwirtschaft heraus und neben Qualitätseinbussen musste auch weiterhin mit geringeren Erträgen gerechnet werden. Die Bewässerung der Kulturen war unabdingbar, denn da wo nicht bewässert werden konnte vertrockneten die Kulturen (Abbildung 26; SB 9.7 & 15.7., AZ 20.7., FN 21.7., SB 24.7., NZZ 25.7.). Die Gemüseernte fiel allgemein schwach aus. Insbesondere die Eisbergsalate litten unter den hohen Temperaturen. Auch die Blumenkohlnachfrage konnte mit den einheimischen Erträgen nicht gedeckt werden (ZSZ & 20 Min, SO & SB 20.7.). Von der Hitze und Trockenheit waren auch die Kirschen betroffen, welche in besonders trockenen Gebieten Sonnenbrand aufwiesen. Die Reifephase der Trauben begann bereits Ende Juli. Die Winzer freuten sich über das trockene und heisse Wetter und sprachen schon jetzt von einem «goldenen Weinjahr», denn die Erfahrung hatte gezeigt, dass frühreife Weine stets gute Weine waren (20 Min 24.7., NZZ 6.8.).

Die Situation der Oberflächengewässerabflüsse war noch weniger heikel als im Jahr 2003. Dank den Starkniederschlägen im Mai und Juni 2015, waren die Seepegelstände hoch und die Grundwasserspeicher gefüllt, was im 2003 nicht der Fall war. Dennoch musste am 17.7. im Kanton Freiburg ein Oberflächengewässerentnahmeverbot erlassen werden, jedoch mit Ausnahmen (TB 13.7.). Kurz darauf mussten wegen der gesunkenen Pegelstände auch in weiteren Kantonen Einschränkungen für die Wasserentnahme von Oberflächengewässern verhängt werden (davon betroffen waren die Kantone Aargau, Solothurn und Baselland) (AZ 20.7.). In einzelnen Gemeinden wurde das Trinkwasser knapp und die Bevölkerung musste zum Wassersparen aufgefordert werden (NLZ 29.7.). Auf den Alpen war der Wassermangel geradezu prekär, so dass den Rindern im Waadtländer Jura und in den Freiburger Alpen ab dem 20. und 22.7. das Wasser per Helikopter gebracht werden musste (Abbildung 26; FN & NZZ 21.7., SO 31.7.).

Zum Ende der zweiten Hitzewelle brachten Gewitter zwar Abkühlung, aber zu wenig Niederschlag um die Situation der stark ausgetrockneten Böden bedeutsam zu ändern (ZSZ 23.7.). In der Ostschweiz zeigten die Bodenfeuchtemessungen trockene bis sehr trockene Verhältnisse (LB & ZSZ 23.7.).

August – erneute Hitzewelle und Trockenheit

Wegen der anhaltenden Trockenheit galt am Nationalfeiertag für Privatpersonen in den meisten Kantonen ein Feuerverbot. In einigen Kantonen wurden die Bestimmungen betreffend Feuer und Feuerwerke an die Gemeindeebene delegiert. So kam es, dass lokal unterschiedliche Verbote und Einschränkungen ausgesprochen wurden (NZZ 27.7.). Auch offizielle Feuerwerke mussten abgesagt werden. So fiel unter anderem das bekannte Gurten-Feuerwerk bei Bern der Trockenheit zum Opfer (20 Min 27.7.). Für die Hersteller

und Lieferanten von Feuerwerkskörpern resultierte die anhaltende Trockenheit in Umsatzeinbussen (20 Min 22.7., NZZ 27.7.).

Das Tessin erlebte Anfang August eine weitere Hitzewelle (NZZ 3.8.). Schweizweit wurden erst am mittleren Augustwochenende wieder deutlich tiefere Temperaturen, mit bis zu 10 Grad weniger als noch in der Woche zuvor, gemessen. Verbreitet war auch Regen gefallen. Im Wallis und in den Westschweizer Alpen gab es mit 25 bis 75 mm während 72 Stunden ausgiebige Niederschläge. In den Kantonen Solothurn, Aargau, Thurgau und Schaffhausen und im Zürcher Unterland wurden jedoch nur 2 bis 10 mm Regen registriert, so dass das Niederschlagsdefizit von eineinhalb Monaten nicht kompensiert werden konnte (ZSZ & SRF 16.8.). Ende August kehrten die hohen Temperaturen wieder zurück. Im Mittelland, in der Nordwestschweiz, im Rhonetal und in der Bündner Herrschaft wurden Temperaturen von über 30 °C erwartet (NZZ 25.8.).

Forschende von Agroscope nutzten die aussergewöhnlich trockenen und warmen Bedingungen um den Anbau von Süsskartoffeln in der Schweiz zu testen. Der Anbau der tropischen Feldfrucht könnte für die Landwirte eine mögliche Anpassung an die erwarteten klimatischen Veränderungen in der Schweiz sein (BAFU & FN 3.8.). Ein weiteres Projekt von Agroscope, ein Versuch mit Genkartoffeln, scheiterte jedoch gerade wegen der Trockenheit (TA 11.8.).

In den Wäldern wurden die Folgen der Trockenheit offensichtlich. Insbesondere in Regionen, wo der felsige oder karstige Untergrund kaum Wasser speichern konnte, verfärbten sich Blätter schon Anfang August braun (BZ 5.8.). In einem Stadtpark in Zürich musste schon im Juli vor spontanen Astabbrüchen gewarnt werden. Im August erlitten vereinzelte Bäume im Kurpark Baden dasselbe Phänomen. Die Bäume hielten der anhaltenden Hitze und Trockenheit nicht stand und mussten teils notgefällt werden (NZZ 6.7., 20 Min 7.7., AZ 14.10.). Die Waldbrandgefahr hielt weiter an. Im Wallis und in Teilen der Westschweiz herrschte Anfang August die höchste Waldbrandgefahrenstufe. In weiten Teilen der Deutschschweiz und im Tessin galt grosse Waldbrandgefahr (SB 7.8.). Erst nach den Niederschlägen Mitte August nahm die Waldbrandgefahr schweizweit, ausser in Teilen des Bündnerlands, auf die Stufen gering bis erheblich ab. Ab dem 20.8. galt das Feuerverbot im Wald nur noch in den Kantonen Basel und Baselland (ZSZ & SO 17.8., AZ 20.8.).

Vierorts wurde die Bevölkerung weiterhin zum Wassersparen aufgefordert (SRF 7.8.). Anfang August galten in rund 10 Kantonen Einschränkungen bei der Wasserentnahme aus Oberflächengewässern. Davon ausgeschlossen waren grössere Fliessgewässer wie der Rhein, die Aare, Reuss und Limmat. Die Einschränkungen galten in den Kantonen Aargau, Zürich, Bern, Luzern, Thurgau, Schaffhausen, Neuenburg, Waadt, Freiburg und Jura (AZ 5.8., SB 7.8., ZSZ & TA 8.8., TB & 20Min 10.8.). Die Wasserstände und Ab-

flüsse der Oberflächengewässer waren vor allem im Tessin, Jura und Mittelland unter der jahreszeitlichen Norm (ZU 10.8.). Um Einschränkungen und Unterbrüche bei der Rheinschifffahrt zu verhindern, musste eine Fahrrinne ausgebaggert werden (AZ 5.11.). Für die Wassertiere wurde die Situation in den Bächen allmählich prekär. Kleinere Fließgewässer, welche streckenweise ausgetrocknet waren, mussten abgefischt werden (BaZ & ZRZ 13.8., ZSZ 14.8.). Im Vergleich zum Jahr 2003, mussten im 2015 etwas weniger Tiere umgesiedelt werden. Die Gewitter Mitte August sorgten lokal für eine Entspannung der Situation, während es aber in anderen Regionen zu einem Fischsterben kam (ZSZ 14.8., AZ 19.8.).

Die Kartoffeln litten unter dem Witterungsverlauf. Der nasse Mai liess die Knollen verfaulen und die darauffolgende Hitze und Trockenheit setzte den Kartoffeln weiter zu und führte zu Keim- und Missbildungen sowie zu geringerem Stärkegehalt. Die Kartoffelernte lag mengenmässig rund ein Viertel unter dem langjährigen Mittel, was den Landwirten Einbussen von mehreren zehntausend Franken bescherte. Die Ernteaufträge im 2015 waren damit höher, als jene im 2003 (SB, TA, ZSZ, SRF 8.8., FN 22.8.). Wiesen, welche nicht bewässert wurden, konnten kaum nachwachsen oder starben ganz ab. Damit waren, entgegen aller Hoffnungen vom Juli, keine weiteren Heuschnitte mehr möglich (SB 15.8., FN 5.9.). Auch beim Mais büssten die Bauern bis zur Hälfte der normalen Ernte ein und zudem war der Nährstoffgehalt gegenüber dem Vorjahr geringer (ZRZ 29.8., TA 4.11.). Ein Futtermangel war nicht mehr zu verhindern und die Landwirte mussten bereits ihren Wintervorrat anzapfen oder Futter zukaufen (SB 15.8.). Als Reaktion auf die akute Futterknappheit hatten einige Landwirte ihren Viehbestand reduziert (AZ 27.8.). Um die Futterknappheit zu lindern, wurde im Kanton Aargau erlaubt die Tiere auf den Biodiversitätsausgleichflächen weiden zu lassen, (SB 15.8.). Der Berner Bauernverband versuchte dem Problem mit einer online-Futterbörse entgegen zu wirken. So konnten Bauern mit reichlichem Futtermittel Heu und anderes Futter an Landwirte mit geringeren Reserven verkaufen (20 Min 25.8.).

Die noch immer stark ausgetrocknete Weiden und häufig beinahe versiegten Wasserquellen forderten auch die Alptrichter weiterhin heraus (FN 14.8.). In den Freiburger Voralpen und im Waadtland Jura wurden die Tiere noch bis zum 11. und 19.8. per Helikopter durch die Armee mit Wasser versorgt. Damit konnte verhindert werden, dass das Vieh frühzeitig zurück ins Tal ziehen mussten. (FN 18.8.). Auch im Kanton St. Gallen, Glarus und Obwalden musste die Armee ähnliche Spontanhilfe-Einsätze leisten (Schweizer Armee 2015).

September – immer noch wie Sommer

Der meteorologische Herbst begann so, wie der Sommer endete: viel zu trocken. In den Bergen und auf der Alpensüdseite hatte es zwar Anfang Monat teils kräftig geregnet, aber in der West- und Nordwestschweiz fielen mit 5 bis 10 mm nur geringe Regenmengen (SRF 7.9.). Mitte September brachten die Niederschläge teilweise eine Entspannung der Situation. In der Westschweiz, im Tessin und Graubünden gab es ausgiebige Regenfälle. Im zentralen und östlichen Mittelland fiel nur wenig Regen, so dass weiterhin Trockenheit herrschte und die Lage angespannt blieb (SRF 18.9.). Bis Ende Monat änderte sich nicht viel an dieser Situation. Der Norden blieb zu trocken und im Süden und im Engadin war es nass (SRF 30.9.).

Wegen dem warmen Wetter waren die Kürbisse rund zwei Wochen früher reif als üblich. Die Pilzsammler machten sich hingegen noch vergebens auf die Suche, obschon in den meisten Jahren die Pilzsaison bereits ab Mitte August losgeht (AZ 5.9.). Dank hohen Temperaturen im Sommer können aber Pilzarten, welche in der Schweiz nur seltene wachsen, gefunden werden (AZ 9.9.). Als Reaktion auf die Futtermittelknappheit wurde den Betroffenen Landwirten durch Reduktion des Grenzschatzes und der Abgabe auf Mais zu Futterzwecken die Futtermittelbeschaffung erleichtert. Einzelne Kantone erteilten den Landwirten direkte finanzielle Unterstützung (SB 7.9. & 8.9.).

Ende September kehrten die Älpler mit ihren Tieren schweizweit zurück ins Tal. Der Alpbzug von der Schwägalp (AR) erfolgte wegen der Trockenheit und dem frühen Alpaufzug bereits Anfang August. Auch im Meiental (UR) mussten die Sennen bereits Anfang September die Alpen verlassen, so dass das geplante Volksfest abgesagt werden musste (ZSZ, SO, 20 Min 26.9.). Die ungünstigen Bedingungen auf den Alpen hatten zur Folge, dass die gestressten Kühe auch weniger Milch gaben und somit weniger Alpkäse produziert werden konnte (AZ & SO 27.9.).

Oktober – zu nass und zu trocken

Im Oktober 2015 waren die Temperaturen verbreitet durchschnittlich oder leicht tiefer als im langjährigen Mittel. Überdurchschnittliche Niederschlagsmengen fielen vor allem in den Alpen. In der Juraregion gab es gerade mal 20 bis 50 % des für diesen Monat zu erwartenden Niederschlags. Auch im Mittelland fiel kaum Regen (SRF 28.10.). Damit herrschte in Teilen des Mittellandes und der Voralpen seit fünf Monaten Trockenheit (SRF 29.10.). Im Kanton Aargau und Zürich wurde ein leicht erhöhter Borkenkäferbefall beobachtet. Die wegen der Trockenheit geschwächten Fichten waren ein leichtes Futter für die Käfer. Doch schweizweit war die Situation nicht mit derjenigen vom Jahr 2003 vergleichbar (SB 7.10.) und war somit weniger schlimm als zunächst befürchtet wurde (SRF 10.11.). Auf dem Trüffelmarkt konnten als Folge der Trockenheit weniger Pilze aus

der Schweiz angeboten werden, dafür waren sie aber geschmacksintensiver (20 Min 2.10.).

Die Grundwasserstände waren allgemein tiefer als üblich und lokal wurden für den Oktober 2015 Tiefststände registriert. Dem mächtigen Grundwasserkörper im Mittelland konnte die anhaltende Trockenheit aber nur wenig anhaben (SRF 4.11.). Der Rhein wies gegenüber einem normalen Oktober-Abfluss von $900 \text{ m}^3/\text{s}$ ein Defizit von $400 \text{ m}^3/\text{s}$ auf. Dies bemerkte man nicht nur bei den Rheinkraftwerken, sondern auch die Schifffahrt mühte sich mit dem tiefen Pegel ab (AZ 5.11.).

November - «endlich Regen»

An den meisten Orten in der Schweiz hatte es während 14 Tagen nicht mehr geregnet. In den Kantonen Aargau und Zürich konnten seit dem Juni keine nennenswerten Niederschlagsmengen mehr gemessen werden. Die Trockenphase hielt im Norden seit dem Sommer an, so dass hier seit fünf Monaten Trockenheit herrscht (SRF 13.11.). Damit dauerte diese Trockenphase länger als im Hitzesommer 2003 (AZ 3.11., TA 4.11.).

Im Kanton Zürich und Solothurn so wie im Berner Oberland, in der Juraregion und in der Zentralschweiz versiegten einzelne Quellen (SRF 4.11., SRF 20.11.). Betroffene Landwirte, welche auch nicht an die öffentliche Wasserversorgung angeschlossen waren, mussten teils schon seit Monaten im nächstgelegenen Dorf Wasser holen (SRF 6.11.). In mehreren Gemeinden der Nordostschweiz kam es zu Engpässen bei der Wasserversorgung und die Bevölkerung musste vielerorts zum Wassersparen aufgefordert werden (SB 11.11., AZ 10.11., SRF 10.11., NZZ 11.11.). Ein für diese Jahreszeit eher ungewöhnlichen Aufruf (AZ 11.11.) In der Gemeinde Schlatt (ZH) wurde wegen der versiegten Quelle der Notstand ausgerufen, jedoch konnte der Wassertransport per Tanklaster frühzeitig organisiert werden (20 Min & SRF 9.11.). In anderen Gemeinden wurden sicherheitshalber die öffentlichen Brunnen abgestellt (Abbildung 27). Bezüglich Wasserversorgung sind die Gemeinden untereinander vernetzt und können sich bei Versorgungsengpässen gegenseitig aushelfen (SRF 4.11., SRF 6.11., ZO 8.11.). Demzufolge wurden bei der Trinkwasserversorgung keine weiteren Engpässe erwartet, obschon die aussergewöhnliche Trockenheit einem 25-jährlichen Ereignis entsprach (SB und SO 11.11.). In kleineren Verbundnetzen blieb die Lage angespannt (FN 12.11.).

Die Abflüsse waren verbreitet unterdurchschnittlich tief. Noch immer führten kleine und mittlere Flüsse kein oder nur wenig Wasser und auch in grösseren Fliessgewässern wurden niedrige Abflüsse gemessen (Abbildung 27). In der Aare floss gerade mal die Hälfte des für diese Jahreszeit üblichen Abfluss und auch der Rhein hatte nach wie vor einen geringeren Abfluss als normal (SRF 5.11., BaZ 11.11.). Das Wasserentnahmeverbot im Kanton Aargau konnte noch nicht aufgehoben werden (AZ 3.11. & 10.11.). Auch im Kanton Thurgau galt nun schon seit 3 Monaten ein Wasserentnahme verbot, weshalb die

Landwirte zur Bewässerung teures Trinkwasser verwenden mussten (SRF 5.11.). Die Landwirtschaft des gesamten Jurabogens hatte ebenfalls mit der spätherbstlichen Trockenheit zu kämpfen. Zur Bewässerung der neu angesäten Kulturen mussten die Landwirte teils Wasser ab den Hydranten im Dorf verwenden (Abbildung 27; SRF 11.11.). Im Mittelland konnte die Trockenheit dem Winterweizen weniger anhaben, da Tau und Nebel den Boden genügend feucht halten konnten (LB 16.11.).



Abbildung 27: Oben: Die Töss bei Juckern im Juni 2009 (o.l.) und im November 2015(o.r.; (Kai Lars Scherer (2009 (ssl.panoramio.com, 20.07.2016: 10:25)) & TA 4.11.15). Unten: Ein Bauer füllte seine Wassertanks im Dorf, weil seine eigene Quelle versiegte (u.l.; SRF 11.11.15), abgestellte Brunnen gehörten vorübergehend zum Ortsbild (u.r.; AZ 11.11.15).

Verbreitet war die Lage für die Flusskraftwerke noch angespannter als im Sommer, denn die Werke waren nur noch zur Hälfte bis drei Viertel ausgelastet (SRF 5.11.). Bei der Rheinschiffahrt konnten Fracht- und Tankschiffe schon seit August nur noch mit reduzierter Ladung fahren, womit die Transportkosten deutlich anstiegen. Als Folge davon kam es unter anderem zu Lieferengpässen beim Heizöl, so dass der Bund die Lager für Mineralöl öffnen musste (HZ 5.11., 20. Min 10.11.). Einige Stauseen waren infolge der hohen Temperaturen fast voll mit Schmelzwasser gefüllt, ganz zu Freuden der Wasserkraftbetreiber (SRF 5.11.). Bei anderen Wasserkraftwerken musste man wegen zu geringen Wassermengen auf Reservespeicher ausweichen (SO 11.11.).

Für die Fische war die Situation noch immer ungünstig, dank den tieferen Wassertemperaturen jedoch weniger dramatisch als im August (AZ 3.11. & 10.11., TA 4.11.). Bachforellen wurden wegen tiefem Pegelstand von Dichtestress geplagt und die Nahrungsknappheit führte vermehrt zu Kannibalismus. Die Seeforellen im Zürichsee machen sich üblicherweise im November auf Laichwanderung, da die Zuflüsse zu wenig Wasser führ-

ten, konnten die Fische jedoch nicht zu den Laichplätzen aufsteigen (ZSZ & 20 Min 8.11., BZ 13.11.). Wildtiere, insbesondere Wildschweine und Igel, litten noch immer unter der anhaltenden Trockenheit. Zum Teil waren auch ganze Biotope ausgetrocknet. Dank dem warmen und trockenen Wetter überlebten dafür bei den Hasen mehr Jungtiere (AZ 17.11.).

Die Trockenheit im Wald hielt weiter an. In Teilen des Kantons Graubünden und im Tessin galt ab dem 13. November ein absolutes Feuerverbot im Freien. Auch im Berner Oberland herrschte erhöhte Waldbrandgefahr. Im Kanton St. Gallen kam es zu zwei Waldbränden, welche jedoch glimpflich ausgingen (SRF & 20 Min 16.11.). Auch im Kanton Freiburg brannte es an zwei verschiedenen Orten (FN 18.11., 20 Min 19.11.). «Endlich Regen» - ab dem 19. November regnete es vielerorts. Intensive Niederschläge und stürmisches Herbstwetter bescherten in manchen Regionen während zwei Tagen mehr Regen als im ganzen November gemessen werden konnte. Nur im Südtessin und im südlichsten Teil Graubündens blieb es trocken und es herrschte weiterhin erhebliche bis grosse Waldbrandgefahr (SB & TdG 21.11.). Ascona erlebte gar einen absolut regenfreien November (NZZ 12.12.).

Dezember – trocken und warm

Der Dezember 2015 war der wärmste Dezember seit Messbeginn 1864 und der trockenste seit 1963 (NZZ 28.12., APZ 4.1.16). Nicht einmal im Sommer 2003 war das Wasserdargebot so knapp wie im Dezember 2015. Die Wasservorkommen sind in der Schweiz lokal sehr unterschiedlich. In vielen Gemeinden der Nordostschweiz musste trotz Novemberregen weiterhin Wasser gespart werden. In anderen Gemeinden wurden die Auswirkungen der langanhaltenden Trockenheit erst im Verlauf des nächsten halben Jahres erwartet, denn bis der Grundwasserspiegel auf Extrembedingungen reagiert, dauert es bis zu sechs Monaten (AZ 9.12.).

Anfang Dezember warnte Swissgrid vor einem Energieengpass. Die Kernreaktoren Benznau 1 und 2 waren ausser Betrieb. Dazu kam, dass die Stauseen für diese Jahreszeit schweizweit zu wenig gefüllt waren. Auch die Flüsse führten nach wie vor Niedrigwasser, so dass auch bei den Laufkraftwerken nur eine verminderte Stromproduktion möglich war (AZ 2.12., NLZ 23.12., WW 29.12.). Stromimport war wegen fehlenden Transformatoren keine Option (WW 29.12.). Dank dem trockenen Wetter und den für diese Jahreszeit hohen Temperaturen, konnten im Kanton Freiburg noch im Dezember Karotten geerntet werden. Da das Wurzelgemüse direkt geliefert werden konnte, blieben den Landwirten die hohen Lagerungskosten erspart (FN 4.12.).

Der Schneemangel in den Bergen war offensichtlich, dennoch eröffneten Mitte Dezember diverse Skigebiete die Wintersportsaison 2015/16 (Abbildung 28; NZZ 23.12.). Kurz vor Weihnachten herrschte vor allem im Tessin, Graubünden und in Teilen des Wallis erheb-

liche Waldbrandgefahr (NZZ 23.12.). Bis zur Silvesterfeier ändert sich nichts an dieser Situation. Im Tessin und in Teilen des Kantons Graubünden wurden Feuerverbote verhängt und in den Kantonen Wallis und St. Gallen wurde beim Umgang mit Feuer Vorsicht geboten (SB & AZ 28.12. und SRF, NZZ 31.12.).



Abbildung 28: Bei der Eröffnung der Wintersaison in Zuoz (l.) und Arosa (NZZ 23.12.2015).

4.2.2 Fazit

Anfang Juli prägten Beiträge über Hitze, schönes Wetter und Badespass ergänzt mit Bildstrecken von badenden Menschen und sich abkühlenden Tieren die Schweizer Medienwelt. Journalisten erinnerten sich an den Sommer 2003 und auch an die damit verbundenen Schattenseiten des heissen Schönwetters. Genauso wurde auch über die längst ersehnten meteorologischen Abkühlungen durch Gewitter und Niederschlag berichtet. Der Begriff Trockenheit fiel erstmals am 8.7. im Zusammenhang mit der bei SRF vage gestellten Frage «droht Trockenheit?». Bis zum 13.7. wurden Waldbrandgefahr und leidende landwirtschaftliche Kulturen als Resultate der Hitze betrachtet. Es mangelte an Niederschlag und die Böden trockneten wegen der Hitze aus. Erst ab Mitte Juli wurde über die Problematik von Trockenheit an sich geschrieben. Die zweite Hitzewelle sorgte erneut für Schlagzeilen. Mit den ersten Wasserentnahmeverboten und dem zunehmenden Bewässerungsbedürfnis im Landwirtschaftssektor, über die ab demselben Zeitpunkt berichtet wurde, stieg auch die Wahrnehmung der Trockenheit weiter an. Die Folgen von Hitze und Trockenheit für Fische und andere Wassertiere wurde am 19.7. erstmals erwähnt. In der Westschweiz wurde am 21.7. über die wegen der Trockenheit prekäre Situation geschrieben, wobei vor allem der Wassermangel auf den Alpen zu reden gab. Kurz darauf wurde auch über erste Trinkwasserengpässe geschrieben. Anfang August sorgte die erneute Hitzewelle vermehrt wieder zu Artikeln über Hitze. Das Thema Trockenheit wurde aber ebenfalls schnell wieder aufgegriffen zumal auch sich die Folgen der Trockenheit immer deutlicher abzeichneten (Aufforderungen zum Wassersparen, Einschränkungen bei Wasserentnahmen, niedrige Wasserstände der Oberflächengewässer, Ernteeinbussen in der Landwirtschaft, ausgetrocknete Wälder, Probleme bei der Rheinschiffahrt). Erst im Oktober wurden über die Grundwasserspiegel und Einbussen bei Laufkraftwer-

ken berichtet und schliesslich wurde im November als Folge der Trockenheit vor Stromlieferengpässen gewarnt. Der fehlende Niederschlag stimmte im Dezember vor allem Wintersportgebietsbetreiber und Sylvester-Feuerwerk-Liebhaber unzufrieden.

In den Medien werden die negativen als auch positiven Auswirkungen von Hitzewellen und Trockenheit aufgezeigt. Wie aus den Artikeln hervorgeht, wirkte sich die Trockenheit in den meisten Sektoren negativ aus, so dass mit Einbussen und Mehraufwand umgegangen werden musste. Nur die Winzer beklagten sich nicht über die weintraubenfreundlichen Bedingungen. Der Synthesebericht zeigt in welcher Reihenfolge verschiedene Wassernutzungsgruppen von Trockenheit betroffen werden. Die Landwirtschaft trifft es unmittelbar, während die Folgen einer anhaltenden Trockenphase im Bereich der Trinkwasserversorgung und Stromproduktion erst Monate später eintreffen. Die von den Medien geschilderte Reihenfolge widerspiegelt die in der Forschung beobachteten Entwicklung von Trockenheit. Eine anfänglich meteorologische und landwirtschaftliche Trockenheit, wirkt sich zunächst primär auf die Landwirtschaft aus. Erst die hydrologische Trockenheit betrifft alle Wassernutzungssektoren (vgl. Van Loon 2015).

Medienberichte können bei der Erfassung und Interpretation und damit bei der Erforschung der Auswirkungen von Trockenheitsereignissen einen Beitrag leisten. Stahl et al. (2016) entwickelten eine internationale Datenbank, welche Auswirkungen von Trockenheit in ganz Europa berücksichtigt. Ziel ist es, nicht nur die Folgen von Trockenheitsereignissen zu erfassen, sondern auch Wissen über die verschiedenen Prozesse im Zusammenhang mit Trockenheit generieren zu können. Grundbaustein dieser Datenbank sind Informationen aus textbasierten Dokumenten (Stahl et al. 2016). Als solche Dokumente können auch die im Rahmen dieses Syntheseberichts recherchierten Medienbeiträge betrachtet werden, womit deren Bedeutung für die Wissenschaft nicht unterschätzt werden darf.

4.3 Userstatistik der Informationsplattform drought.ch und Analyse der Userfeedback

4.3.1 Userstatistik

Der Verlauf der Anzahl Besuche und der Anzahl unterschiedlicher User während dem Jahr 2015 ist in Abbildung 29 dargestellt. Die Informationsplattform wurde in den 12 Monaten insgesamt 18'555 Mal besucht. Davon fanden über 75% aller Besuche in der zweiten Jahreshälfte statt. Im Juli wurde die Plattform mit über 6'000 Besuchen deutlich am häufigsten aufgerufen. Im August ging die Anzahl Besuche auf 2'000 zurück und nahm auch im September und Oktober weiter ab. Im November konnten fast so viele Besuche gezählt werden, wie im August. Im Dezember nahm die Anzahl Besuche wieder leicht ab.

Der Verlauf der Anzahl User zeigt einen ähnlichen Verlauf wie jener der Anzahl Besuche. In der ersten Jahreshälfte wurde die Plattform monatlich von durchschnittlich 333 verschiedenen Usern besucht, während in der zweiten Jahreshälfte nie unter 550 unterschiedliche User pro Monat gezählt wurden. Im Juli waren mit über 4'000 am meisten verschiedene User aktiv. Die Anzahl unterschiedliche User verringerte sich in den darauf folgenden Monaten. Nur im November wurden wiederum über 900 unterschiedliche User gezählt. Im Dezember waren es noch 774.

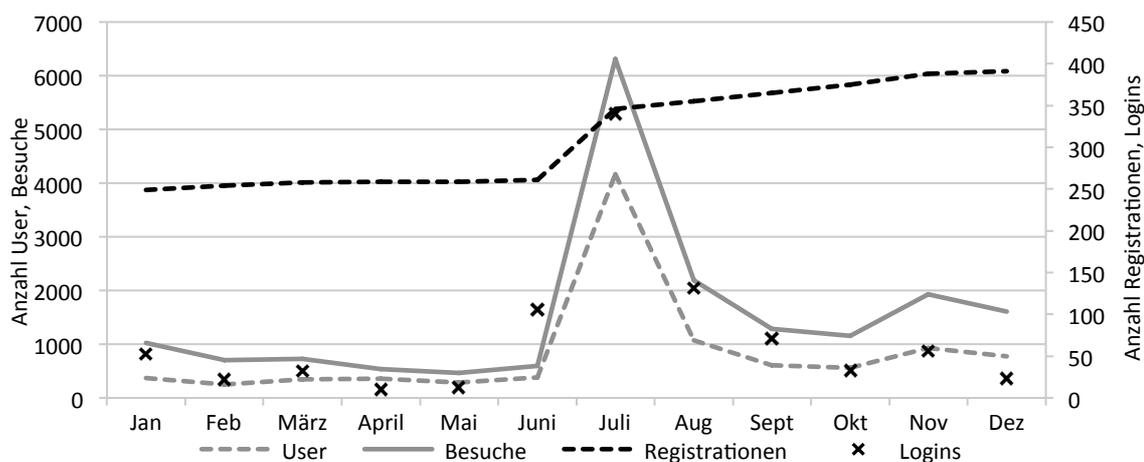


Abbildung 29: Verlauf der Besuche, Useranzahl, Logins und Registrierungen im 2015.

Im Juli wurde die Plattform an fünf Tagen über 500 Mal besucht, was den monatlichen Durchschnitt der Anzahl Besuche pro Tag auf 203 Besuche pro Tag anheb. Während den darauf folgenden Monaten bis Ende Jahr pendelte sich dieser auf 42 bis 70 Besuche pro Tag ein. In diesen 5 Monaten wurden nur noch an drei Tagen im August und an zwei Tagen im November über 100 Besuche registriert.

Das Verhältnis der Anzahl unterschiedliche User zur Anzahl Besuche zeigt auf, wie häufig ein User die Informationsplattform im Durchschnitt besuchte. Während die Plattform im April bis Juli von einem User durchschnittlich gut 1.5 Mal pro Monat besucht wurde, informierte sich ein User in den übrigen Monaten im Durchschnitt zweimal im Monat auf der Plattform `drought.ch`. Im Januar und Februar sogar fast dreimal.

Während der zweiten Jahreshälfte hielten sich über 80% aller User lediglich 0 bis 30 Sekunden auf der Informationsplattform auf. 11% aller User befanden sich während 0.5 bis 5 Minuten auf der Plattform. Während der zweiten Jahreshälfte wurde die Seite mit den Informationen zur allgemeinen Lage mit über 5400 Zugriffen am häufigsten abgerufen. Am zweithäufigsten wurde die Login-Seite aufgerufen, wobei 1800 Zugriffe gezählt wurden. Ab Oktober wurde auf `drought.ch` auch das Trockenheits-News Archiv vermehrt besucht. Von Oktober bis Dezember wurden für News-Seite über 1300 Zugriffe registriert.

Registrierungen und Logins

Bei einer Neuregistrierung müssen sich User einem der folgenden Bereiche zuordnen: Behörde, Forschung, (Schifffahrt &) Tourismus, Wasserkraft, Landwirtschaft, Forstwirtschaft, Ingenieurbüro, Medien oder Privatperson. Weiter müssen User bei der Registrierung eine «kurze Begründung für das Interesse» formulieren (Drought-CH 2016).

Registrierungen

Im Jahr 2015 hatten sich auf `drought.ch` 145 Personen neu registriert, davon 130 in der zweiten Jahreshälfte. Im Juli hatten sich mit 85 Registrierungen deutlich mehr User neu angemeldet, als in allen anderen Monaten (Abbildung 29). Im August erfolgten neun und im September und Oktober je zehn Registrierungen, im November 13 und im Dezember noch drei. Die Registrierungen während der zweiten Jahreshälfte erfolgten vor allem durch User des Bereichs Privatperson (60 Registrierungen). Weiter sind 22 Registrierungen aus dem Bereich Forschung, 20 aus dem Bereich Behörde und 17 Registrierungen aus dem Bereich Landwirtschaft zu verzeichnen. In den Bereichen Medien, Wasserkraft und Ingenieurbüro gab es eine, zwei und sechs Registrierungen. Im Bereich Tourismus hatte sich im untersuchten Zeitraum niemand registriert.

Bis Ende 2015 hatten sich insgesamt 391 User registriert (Abbildung 29). Knapp ein Drittel aller registrierten Personen ordnete sich dem Bereich Behörde zu (Abbildung 30). Etwas weniger User meldeten sich als Privatpersonen an. 18% der User stammen aus dem Bereich Forschung und 13% aus dem Bereich Landwirtschaft. Aus den Bereichen Ingenieurwesen, Forstwirtschaft, Medien und Wasserkraft hatten sich insgesamt 51 User angemeldet, wobei der Sektor Medien erst im Sommer 2015 eingeführt wurde. Der Bereich Tourismus blieb bis Ende 2015 ohne Registration.

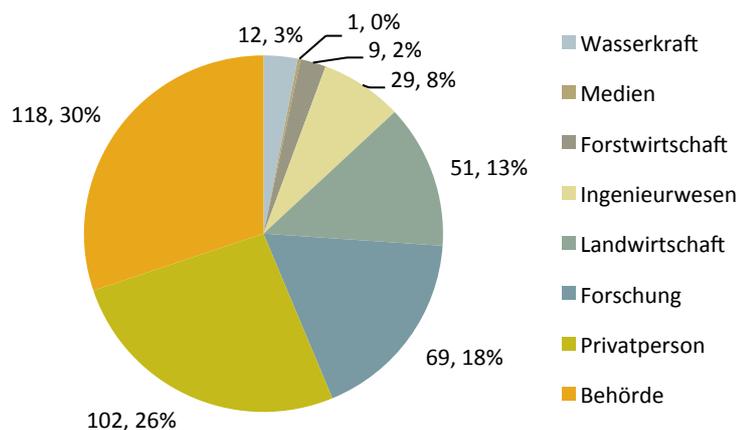


Abbildung 30: Anzahl und prozentualer Anteil registrierte User bis Ende 2015 je Bereich. Bis Ende 2015 zählte die Informationsplattform *drought.ch* 391 registrierte User.

Interessen der User

Die insgesamt 424 Begründungen für das Interesse an *drought.ch* wurden nach Inhalt in 5 verschiedene Kategorien eingeteilt (Tabelle 7). Von allen Aussagen lassen sechs auf kein spezifisches Interessen schliessen. 18 Personen gaben als Grund für ihre Registration an, in die Entwicklung von *droughth.ch* direkt oder als Datenlieferant involviert zu sein, mit anderen Projekten im Rahmen des NFP61 beschäftigt zu sein oder am Projekt beteiligte Personen persönlich zu kennen. Weiter wird unterschieden, ob die Interessen der User privater und beruflicher Art sind. 88 Personen gaben an sich privat für *drought.ch* zu interessieren und 312 User nannten berufliche Interessen. Bei den 88 Angaben betreffend privaten Interessen werden folgende Interessensbereiche unterschieden: allgemeines Interesse (30 Aussagen), Natur und Umwelt (14), Hydrologie und Trockenheit (11), Meteorologie und Klima sowie deren Auswirkungen (14), Wasserversorgung und Bewässerung (9) und Fischen und Pilze sammeln als Freizeitbeschäftigung (5). In die Kategorie «Anderes» fallen fünf Aussagen und unter anderem Interessensangaben wie Schule, Ausflüge und Reisen oder Informationsgewinnung für einen privaten Blog auf Twitter.

Tabelle 7: Anzahl Interessensangaben je Kategorie und Subkategorie.

Kategorie/ Subkategorie und Beschreibung	# Aussagen
I Keine eindeutigen Angaben	7
II In Entwicklung involviert, Datenlieferant, Bekannte, mit Projekten des NFP61 zu tun	18
III Privat	88
0 allgemeines Interesse	30
1 Natur und Umwelt	14
2 Hydrologie und Trockenheit	11
3 Meteorologie und Klima und deren Auswirkungen	14
4 Wasserversorgung und Bewässerung	9
5 Fischen und Pilze sammeln (als Hobby)	5
6 Anderes (Schule, Ausflüge und Reisen, Twitter)	5
IV Beruflich	296
0 beruflich mit Thema zu tun, Lagebeurteilung, Informationsplattformen allgemein	37
1 Landwirtschaft, Pflanzenbau, Gärtnerei, Forstwirtschaft	65
2 Fachstellen, Ämter und Ingenieurbüros	71
3 Forschung, Hochschulen, Lehre	60
4 Medien und Kommunikation, Beratungen, Empfehlungen, Versicherungen	34
5 Naturgefahren, Risikoabschätzung, Bevölkerungsschutz, Waldbrand und Feuerwehr	19
6 Wasserkraft und Energiegewinnung	10
V Internationale Interessenten, zur Inspiration (KAT 7)	16
Total	424

Auch die Angaben beruflicher Interessen wurden nach Inhalt kategorisiert. 37 Personen interessieren sich für die Plattform, weil sie im Beruf mit ähnlichen Themen zu tun haben. Gut ein Fünftel der Aussagen der Kategorie IV deuten darauf hin, dass die User selbst als Landwirte, Gärtner oder Förster tätig sind oder direkt mit dem Landwirtschaftssektor zu tun haben und sich deshalb auf **drought.ch** informieren möchten. Fast ein Viertel der Aussagen stammen von Personen, welche bei Behörden und Ingenieurbüros tätig sind und welche sich mit den Themen Wasserwirtschaft, -management, -versorgung, Gewässerschutz und -zustand, Meteorologie, Bodenfeuchtigkeit, Niedrigwasser und Trockenheit auf nationaler, kantonaler, regionaler oder kommunaler Ebene beschäftigen. Ein weiteres Fünftel aller Angaben zu beruflichen Interessen wurde durch Personen, welche im Bereich Forschung und Lehre arbeiten verfasst. Davon interessieren sich am meisten User (29; 8%) aufgrund ihres eigenen Forschungsbereichs für **drought.ch**. Weitere 12 (3%) Personen gaben explizit an über Trockenheit und Auswirkungen von Trockenheit zu forschen. Sechs User interessieren sich vor allem für die Modellierung und der Datenaufbereitung welche hinter **drought.ch** steckt. 33 Personen sind in den Bereichen Medien, Kommunikation, Beratung oder Versicherungen tätig und sind in diesem Sinne an den Informationen von **drought.ch** interessiert.

In eine weitere Kategorie der beruflichen Interessen fallen die Angaben von 19 Personen, welche mit Naturgefahren, Risikoabschätzung, Bevölkerungsschutz oder Waldbrand zu tun haben, oder selber in der Berufsfeuerwehr tätig sind. Neun Personen nannten ihren Bezug zum Bereich Wasserkraft und Energiegewinnung als Grund für ihr Interesse an **drought.ch**. Bisher haben sich 16 internationale Interessenten auf **drought.ch** registriert, welche die Seite unter anderem zur Inspiration eigener Projekte besuchen oder weil das Thema auch in ihrem Land von Bedeutung ist.

4.3.2 Logins

In den Sommermonaten 2015 hatten sich deutlich mehr registrierte User auf der Plattform eingeloggt, als in allen anderen Monaten (Abbildung 29). Während im Juli und August 336 und 129 Logins gezählt wurden, war die Anzahl Logins im Herbst mit 68, 33 und 56 Logins deutlich tiefer (Abbildung 31). Im Dezember war die Anzahl Logins mit 21 die geringste der zweiten Jahreshälfte.

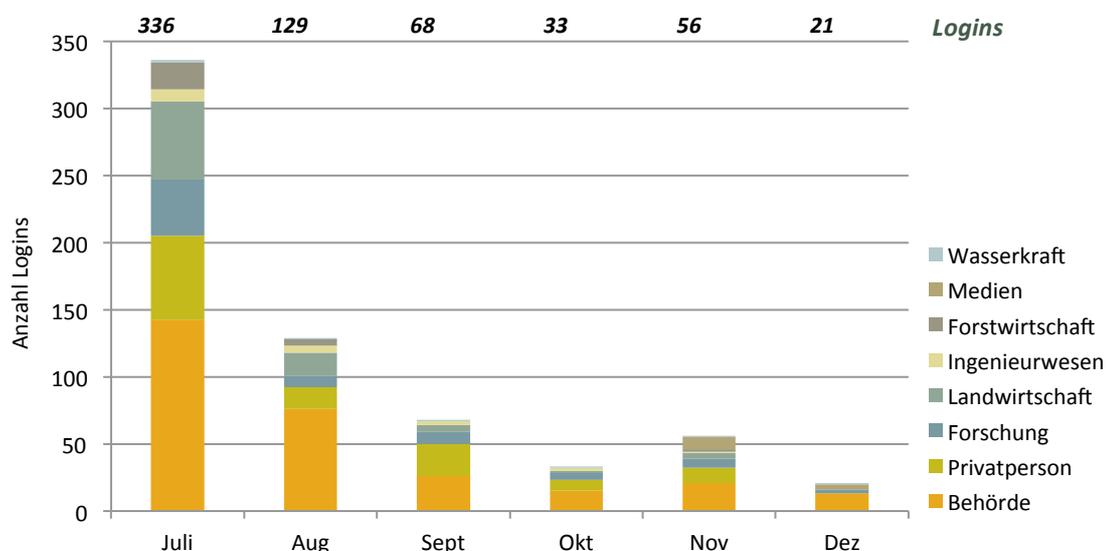


Abbildung 31: Anzahl Logins durch registrierte User im Zeitraum Juli bis Dezember 2015, nach Bereichen.

Mit 46% hatten sich User aus dem Bereich Behörde in der zweiten Jahreshälfte 2015 am häufigsten eingeloggt (Abbildung 32). 20% der Logins wurden durch User des Bereichs Privatperson getätigt. Aus den Bereichen Forschung und Landwirtschaft stammten 12 und 13% aller Logins. Wie bei den Registrierungen, waren auch die Anzahl Logins der Bereiche Ingenieurwesen, Forstwirtschaft, Medien und Wasserkraft am geringsten.

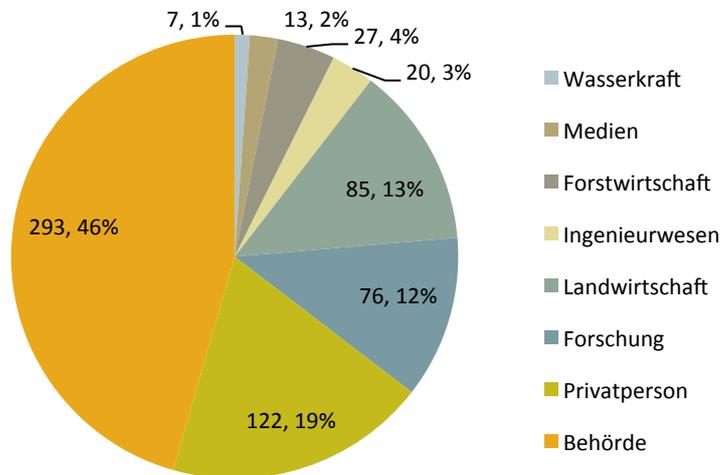


Abbildung 32: Anzahl und prozentualer Anteil Logins je Bereich während dem zweiten Halbjahr 2015 (Total 643).

Die Anzahl Logins pro registrierten User lagen im Juli bei 0.98, somit hatte sich im Durchschnitt fast jeder User einmal eingeloggt. Am häufigsten hatten sich die User des Bereichs Forstwirtschaft eingeloggt. Die sieben User dieser Kategorie hatten sich je fast dreimal angemeldet (Abbildung 33). Bei den Bereichen Behörde und Landwirtschaft hatten sich die User durchschnittlich etwas mehr als einmal angemeldet. Im August meldete sich im Durchschnitt noch jeder dritte registrierte User einmal an. Die User aus den Bereichen Behörde und Forstwirtschaft loggten sich im August am häufigsten auf **drought.ch** ein. Im September und Oktober ging die Useraktivität insgesamt zurück. Im September meldete sich noch knapp jeder Fünfte einmal an und im Oktober noch knapp jeder Zehnte. Am aktivsten waren im September die User des Bereichs Privatperson und Behörde. Im November loggte sich der User aus dem Bereich Medien neunmal ein. Im November meldeten sich von den User der Bereiche Forstwirtschaft und Behörde im Durchschnitt jeder Fünfte einmal ab und bei den Bereichen Forschung und Privatperson jeder Zehnte. Die 21 Logins im Dezember stammen aus den Bereichen Medien, Behörde, Wasserkraft und Forschung, wobei vier Logins durch den User des Bereichs Medien erfolgten.

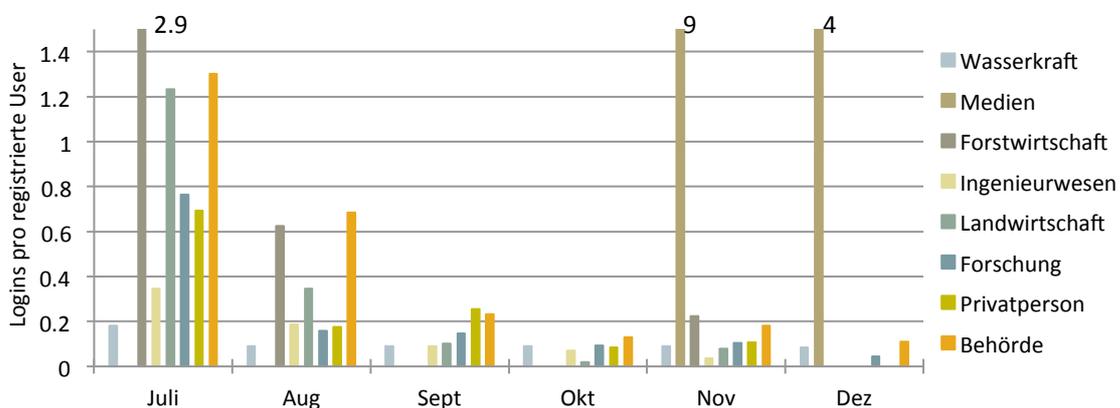


Abbildung 33: Anzahl Logins pro Anzahl registrierte User aufgelöst nach Bereich und Monat.

4.3.3 Userfeedback

Fast die Hälfte der insgesamt 62 User, welche den Online-Fragebogen ausfüllten, gehört dem Bereich Behörde an. Aus dem Bereich Landwirtschaft meldeten sich zehn User und aus dem Bereich Forschung sieben. Von den Bereichen Privatperson, Wasserkraft und Ingenieurwesen füllten je vier Personen das Feedbackformular aus. Nur ein User des Bereichs Forstwirtschaft meldete sich. Vier Rückmeldungen erfolgten ohne Angabe zum Bereich.

Aus den Rückmeldungen geht hervor, dass 25 User vorwiegend die Informationen zur aktuellen Lage abrufen. Fast gleich viele User interessieren sich für die Vorhersagen und die aktuelle Lage. Nur vier Rückmeldungen ist zu entnehmen, dass sich der User primär bezüglich Vorhersagen informiert. Neun Personen machten keine Aussagen dazu.

Die kurzen Moderationstexte zu den Übersichtskarten empfanden 45 der 62 User als hilfreich und nachvollziehbar. Zu den typisierten Übersichtskarten äusserten sich 46 User positiv und empfanden die Karten als hilfreich für die Einschätzung der allgemeinen Lage. Die Übersichtskarte zur Abschätzung der 5-Tages-Vorhersagen sind erst seit Mai 2015 verfügbar, so dass sich hierzu nur 27 User äusserten. Von den 27 User wurde die 5-Tages-Vorhersage Übersichtskarte von 13 User als hilfreich eingestuft, von fünf User hingegen als nicht hilfreich. Neun User äusserten sich nicht dazu.

Zu den Links, welche auf drought.ch verfügbar sind machten 14 Personen eine Aussage, wovon die Hälfte keine weiteren Links wünscht. Sieben Personen äusserten den Wunsch nach weiteren Links zu Internetseiten, welche über Trockenheit in anderen Ländern informieren. Auf drought.ch wird bereits auf die Internetseite des *European Drought Center* und des *Global Drought Monitor* verwiesen. Folgende Links könnten ebenfalls aufgeführt werden:

- Dürremonitor Deutschland: www.ufz.de/index.php?de=37937
- Trockenheit in der Toskana, Italien:
www.lamma.rete.toscana.it/siccita-situazione-corrente
- Trockenheit in Portugal: www.ipma.pt/pt/oclima/observatorio.secas/
- Hydrologische und meteorologische Situation in England:
www.gov.uk/government/collections/water-situation-reports-for-england
- Trockenheit in Tschechien und der Slowakei:
www.intersucho.cz/en/?mapcountry=sk
- U.S. drought monitor:
droughtmonitor.unl.edu/, droughtreporter.unl.edu/map/
- Trockenheit in Australien: www.bom.gov.au/climate/drought/
- Trockenheit in Malaysia:
www.met.gov.my/web/metmalaysia/climate/fdrs/southeastasia

Weitere ähnliche Projekte zum Thema Trockenheit werden auch in anderen Ländern lanciert, jedoch werden (noch) keine aktuellen Daten zu Trockenheit publiziert. So zum Beispiel in Österreich (ada.boku.ac.at/project_info.html) und Südafrika (hydrology.princeton.edu/~justin/re-search/project_global_monitor/index_africa.html).

Ein User wünscht sich mehr Hinweise zu aktuellen wissenschaftlichen Publikationen zum Thema Trockenheit. Die Titel diverser Publikationen sind aufgeführt, jedoch soll die Liste aktualisiert und ergänzt werden (zurzeit ist die aktuellste Publikation aus dem Jahr 2012). Mögliche zusätzliche Publikationen wären: «WSL-Magazin Diagonal. Schwerpunkt Trockenheit im Wasserschloss Schweiz?» (2013), «Trockenheit im Obstbau - Befragung von Landwirten in der Nordost- und Nordwestschweiz» (2015) und «Hydrological drought explained» (2015). (Eidg. Forschungsanstalt WSL, 2013: WSL-Magazin Diagonal. Schwerpunkt Trockenheit im Wasserschloss Schweiz? WSL-Mag. Diagonal 2013, 2: 36 S.; Kruse, S.; Seidl, I., 2015: Trockenheit im Obstbau - Befragung von Landwirten in der Nordost- und Nordwestschweiz. Agrarforsch. Schweiz 6, 2: 56-63., Van Loon, A. F. 2015: Hydrological drought explained. WIREs Water 2:359-392.).

Zum Thema Wind und Bodenaustrocknung und zur Bodenfeuchte allgemein sollten den User zufolge mehr Informationen zur Verfügung gestellt werden. Entweder als Link zu Messstationen, Messnetzen und Daten oder direkt auf drought.ch. Links zu Bodenfeuchtedaten sowie zu den verschiedenen Messstationen als auch zu Kantonalen Bodenfeuchtemessnetzen sind bereits aufgeschaltet. Informationen betreffend Bodenfeuchte und zum Zusammenwirken von Bodenaustrocknung und Wind fehlen hingegen. Diese könnten jedoch auf drought.ch unter *Langzeitinformationen* veröffentlicht werden.

Verbesserungsvorschläge und Anmerkungen der User von drought.ch

Aus der Umfrage gehen verschiedene Verbesserungsvorschläge der User hervor, welche im Folgenden kurz geschildert werden. Es werden nur jene erwähnt, welche nicht bereits erfüllt sind.

User von drought.ch würden es begrüßen, wenn generell mehr **Hintergrundinformationen** verfügbar wären, zum Beispiel in der Form wie diese für den Abfluss und den Niederschlag vorhanden sind (im Abschnitt «Info hydrologische Trockenheit», respektive «Info Niederschlagsdefizit»). Zudem wurde das Interesse an Informationen zu Messungen und Messwerten der einzelnen Parameter erwähnt. User würden gerne mehr darüber erfahren was genau wie gemessen wird und wie anschliessend die Trockenheitsstufen daraus hergeleitet werden. Mehrfach und in beiden Feedbackrunden wurde erwähnt, dass die Angaben zu den **Schwellenwerten** der Trockenheit fehlen.

«Mehr **Daten und Karten** und längere **Zeitreihen**» werden als weitere Verbesserung von drought.ch betrachtet. Ergänzend könnten auf der Plattform Informationen be-

treffend Evapotranspiration oder Wind veröffentlicht werden. Weitere Informationen zu Wassertemperaturen und Bodenfeuchte wurden von den User ebenfalls erwünscht.

Betreffend **Darstellung** werden unterschiedliche Verbesserungsvorschläge gemacht. Die User würden eine einheitliche Darstellung der verschiedenen Parameter begrüßen. Die Niederschlagsprognosen beschränken sich auf die Einzugsgebiete von Thur, Emme und Dischmabach. Es wär durchaus erstrebenswert auch hier Informationen für die gesamte Schweiz liefern zu können, anstatt auf den Monatsausblick der Meteoschweiz zu verweisen.

Ein weiterer Vorschlag betreffend Darstellung ist, **pro Region eine Übersicht** mit sämtlichen Prognosen darzustellen. So könnten sich User kurzerhand einen Überblick über die Situation einer bestimmten Region verschaffen. Da sich einige User vor allem für eine bestimmte Region interessieren und nicht immer für die schweizweite Situation, würde eine solche Darstellungsoption sinnvoll sein. Zum Beispiel könnte durch das Anklicken einer Region, oder mit dem Darüberfahren mittels Mauszeiger die entsprechende Überblickansicht eingeblendet werden, welche die aktuelle Lage und sämtliche Prognosen jedes Parameters für die ausgewählte Region beinhaltet (Abbildung 34).

Tag	A	N	BF	GW	S
0					
+1					
+2					
+3					
+4					
+5					

Abbildung 34: Mögliche Anzeige der 5-Tages-Vorhersagen für die Parameter Abfluss (A), Niederschlag (N), Bodenfeuchte (BF), Grundwasser (GW), Seen und Speicher (S).

Die **Darstellungen** der Übersichtskarten insbesondere jene der Pixelkarten werden als zu klein empfunden. Wenn möglich sollten die Karten per Mausklick in einem grösseren Format angezeigt werden können oder mit einer Zoomfunktion ergänzt werden. Auch die Legenden zu den Karten sind zu klein abgebildet, so dass sie insbesondere bei den Prognosedarstellungen unleserlich sind. Laut User sollte die Farbskala intuitiv gestaltet sein, und deutlichere Farbunterschiede verwendet werden. Eine grössere Darstellung der Legende würde helfen die Farbtonunterschiede besser zu erkennen.

Vermehrt wird gewünscht, die Daten in höherer **räumlicher Auflösung** abrufen zu können. Vorzugsweise nach Einzugsgebiet oder aber in derselben Auflösung wie die typisierten Karten der Prognosedarstellungen. Mehr Pixelkarten wären ebenfalls erwünscht. Zudem soll auch das Fürstentum Lichtenstein berücksichtigt werden. Bei den Angaben zur allgemeinen Situation wird dies bereits ausgeführt, die Prognosen erfolgen jedoch ausschliesslich für die Schweiz. Weiter wird erwähnt, dass die Informationen für einen kantonalen Vollzug betreffend Wasserentnahmen bei Trockenheit unzureichend sind, da

hierfür die Werte für einzelne Gewässer vorhanden sein müssten. Auch zur Förderung der Verwendung von Trockenheitsinformationen in der Landwirtschaft wird die Zusammenarbeit mit kantonalen Ämtern vorgeschlagen.

Weiter wurden Verbesserungsvorschläge betreffend **Benutzerfreundlichkeit** gemacht. Nach dem Login gelangt ein User direkt zur Übersicht der allgemeinen Lage und kann von da aus auf die Prognosen zugreifen. Geht der User zurück zur Home Seite, kann er via Mausklick auf die Übersichtskarte oder durch erneutes Einloggen wieder zu den Prognosen gelangen. Um diesen Zugriff nach dem Login zu erleichtern, wäre es sinnvoll den Link zu den Prognosen für eingeloggte User auch auf der Home Seite anzuzeigen.

Mehrmals wurde vorgeschlagen, dass zur Bestimmung der **Trockenheit im Wald** neben dem Nesterov-Index auch weitere Grössen verwendet werden sollen, wie zum Beispiel der DC (drought code). Zudem wurde vermerkt, dass die Angaben zur Trockenheit im Wald, welche auf **drought.ch** publiziert wurden nicht mit Angaben auf der Internetseite des BAFUs übereinstimmen. Auch weitere Kommentare deuten auf eine Fehlinterpretation der Informationen zu Trockenheit im Wald hin. Da auf **drought.ch** auch nur auf Trockenheit im Wald hingewiesen wird und nicht, wie auf der Seite des Bundes auch auf Waldbrandgefahr, sind solche Unterschiede durchaus möglich. Das Ziel von **drought.ch** ist ausschliesslich auf Trockenheit im Wald hinzuweisen, weshalb auch keine Index verwendet werden, welche verbreitet für die Abschätzung der Waldbrandgefahr verwendet werden. Die Waldbrandgefahrenabschätzung ist Aufgabe des Bundes. Um Missverständnisse zu verhindern, soll auf **drought.ch** explizit erklärt werden, dass Trockenheit im Wald nicht mit Waldbrandgefahr gleichgesetzt werden kann und die Angaben zu Trockenheit im Wald könnten mit einem Link zur Plattform des Bundes ersetzt oder ergänzt werden.

Ein User wünscht sich Informationen zu **kritischen Grenzwerten**, in Form von Warnungen oder Hinweisen, wann Massnahmen ergriffen werden müssen (z.B. Bewässern). Ein weiterer Vorschlag ist **drought.ch** mit Informationen zu weiteren Gefahren wie Hochwasser oder Hagel auszustatten. Auch betreffend diesen zwei Vorschlägen kann gesagt werden, dass **drought.ch** keine Warn-Plattform ist, sondern lediglich die Informationen für eine eigene Abschätzung der Situation anbietet (Bernhard & Zappa, 2015).

Die Informationen auf **drought.ch** sollen in mehreren **Sprachen** verfügbar sein. Ansatzweise wurde dies fürs Englische bereits umgesetzt, noch fehlt aber eine vollständige Übersetzung in eine andere Sprache. Ziel sollte es sein die Plattform in den Sprachen Deutsch, Englisch, Französisch und Italienisch anbieten zu können.

Bezüglich der publizierten **Prognosen** schlagen User vor als Ergänzung auch Informationen zu den Prognosefehlern und zu den Unsicherheiten zu machen.

4.3.4 Fazit

Der Verlauf der Anzahl Besuche und User sowie der Logins, als auch der Neuregistrierungen zeigen während der zweiten Jahreshälfte 2015 vergleichbare Muster. Das Interesse für die auf **drought.ch** publizierten Informationen war im Juli am grössten. Im Herbst und Winter gingen die Userquoten wieder zurück, jedoch pendelten sich diese auf einem höheren Niveau ein, als noch vor den Sommermonaten. Nur die Anzahl Logins nahm wieder auf ein vergleichbares Niveau wie während der ersten Jahreshälfte ab. Die Besuchsmaxima im Juli lassen sich mit der Medienpräsenz von **drought.ch** erklären. Am 9.7. wurde die Informationsplattform in einem Beitrag von SRF Meteo erwähnt und am 27.7. erschien im Tagesanzeiger ein Hinweis zur Plattform.

Die User registrieren sich auf **drought.ch**, weil sie sich privat für das Thema interessieren oder viel häufiger, weil sie beruflich mit Trockenheit oder mit verwandten Themen zu tun haben. Am meisten Logins wurden durch User aus dem Bereich Behörde getätigt, welchem auch am meisten registrierte User angehören. Weitere stark vertretene Sektoren sind Privatperson, Forschung und Landwirtschaft. Den Personen aus dem Bereich Behörde, welche häufig auf nationaler oder kantonaler Ebene tätig sind, dienen die aktuell veröffentlichten Übersichtskarten insofern, als dass sie diese teilweise auch bei ihrer beruflichen Tätigkeit berücksichtigen. Mehrere User wünschen eine räumlich höher aufgelöste Darstellung der Informationen um die Trockenheitsinformationen auch auf kommunaler Ebene nutzen zu können. Auch Personen aus den Bereichen *Privatperson* und *Landwirtschaft* interessieren sich für detaillierte, kleinräumigere Informationen. Für eine erleichterte Interpretation und für ein vereinfachtes Verständnis der Übersichtskarten wäre die Angabe der Schwellenwerte der einzelnen Parameter hilfreich, oder zumindest Angaben dazu, welche Bedeutung ein bestimmter Parameter einer bestimmten Trockenheitsstufe aufweist. Die kurzen Moderationstexte als Ergänzung zum graphischen Überblick werden laut Rückmeldungen begrüsst und sollen daher auch weiterhin verfasst werden.

Die kurze Verweilzeit und das häufige abrufen der Startseite von **drought.ch** lässt vermuten, dass sich die User innert kürzester Zeit einen Überblick über die aktuelle Situation verschaffen möchten, oder sich nicht die Mühe nehmen wollen sich einzuloggen. Wie in den Userfeedback erwähnt wurde, würden die erweiterten Trockenheitsinformationen häufiger abgerufen, wenn sich die User jeweils nicht registrieren oder einloggen müssten.

4.4 Trockenheitsvorhersagen

4.4.1 5-Tages-Vorhersagen

Die Anteile *Treffer* (*exakte*, *überschätzte* und *unterschätzte*), *negative Treffer*, *Verfehlen* und *falsche Alarmer* je Parameter, Region und Prognosezeitraum sind in Abbildung 35 dargestellt und die entsprechenden Gütemasse sind in Tabelle 8 aufgeführt.

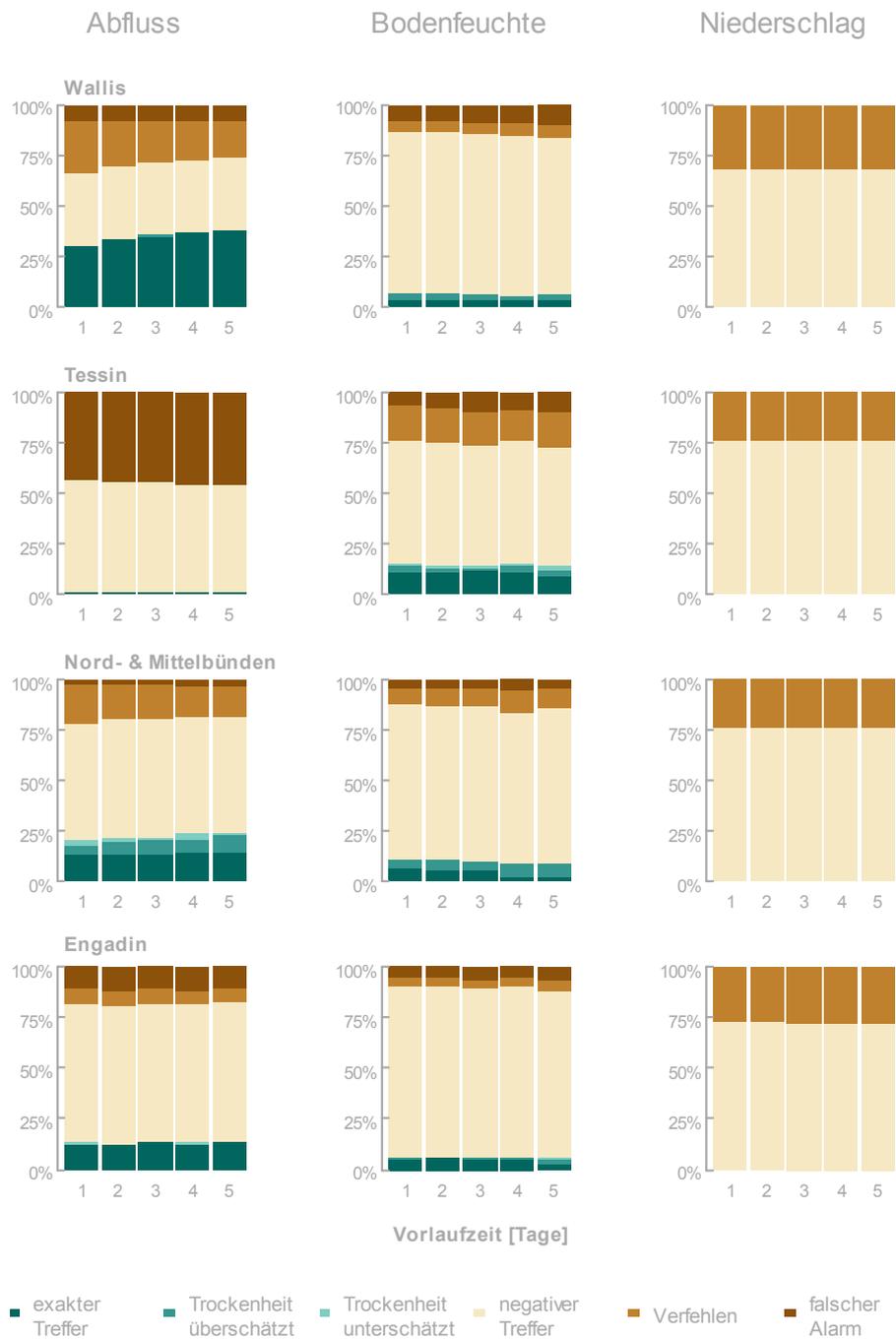


Abbildung 35: Anteil Treffer, negativer Treffer, verfehlter Vorhersagen und falscher Alarmer je Parameter, Region und Vorlaufzeit in Prozent.

Auffallend ist, dass die Trefferrate der **Abflussdefizitprognosen** im Wallis, NMB und Engadin mit fortschreitender Vorhersagezeit zwischen 2 und 8 % zunehmen. Am deutlichsten zeigt sich dieser Trend in der Region Wallis. Für die Regionen NMB und Engadin wurden betreffend Abflussdefizitprognosen die höchsten Trefferraten von bis zu 0.83 erreicht, wobei diese insbesondere wegen dem hohen Anteil *negativer Treffer* erzielt wurde (vgl. Abbildung 35). Entsprechend liegt der POD, welcher die *negativen Treffer* nicht berücksichtigt, mit 0.5 bis knapp 0.7 etwas tiefer und relativiert so die hohe Trefferquote. Die Region Wallis zeigt eine etwas tiefere Trefferquote, jedoch liegt der POD ebenfalls zwischen 0.5 bis 0.7.

Tabelle 8: Trefferrate, Entdeckungswahrscheinlichkeit (POD), Anteil falscher Alarmer (FAR) und Bias je Region, Parameter und Vorlaufzeit.

Tage	Abfluss					Bodenfeuchte					Niederschlag				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
Trefferrate															
Wallis	0.66	0.69	0.71	0.72	0.74	0.86	0.87	0.86	0.85	0.84	0.69	0.69	0.68	0.68	0.68
Tessin	0.57	0.55	0.56	0.54	0.54	0.77	0.75	0.74	0.76	0.73	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
NMB	0.79	0.81	0.81	0.81	0.82	0.89	0.87	0.87	0.84	0.86	0.76	0.76	0.76	0.76	0.76
Engadin	0.82	0.81	0.82	0.82	0.83	0.91	0.90	0.89	0.90	0.89	0.73	0.73	0.73	0.73	0.73
POD															
Wallis	0.54	0.6	0.64	0.65	0.68	0.55	0.55	0.55	0.45	0.5	0	0	0	0	0
Tessin	1	1	1	1	1	0.47	0.47	0.47	0.5	0.45	0	0	0	0	0
NMB	0.52	0.57	0.57	0.6	0.61	0.6	0.57	0.54	0.46	0.49	0	0	0	0	0
Engadin	0.65	0.62	0.68	0.65	0.68	0.58	0.58	0.53	0.58	0.53	0	0	0	0	0
FAR															
Wallis	0.2	0.19	0.19	0.18	0.17	0.56	0.54	0.57	0.6	0.62	-	-	-	-	-
Tessin	0.96	0.96	0.96	0.97	0.97	0.3	0.34	0.39	0.36	0.42	-	-	-	-	-
NMB	0.1	0.09	0.09	0.1	0.1	0.25	0.29	0.3	0.38	0.32	-	-	-	-	-
Engadin	0.45	0.48	0.44	0.45	0.43	0.45	0.48	0.52	0.48	0.52	-	-	-	-	-
Bias															
Wallis	0.67	0.75	0.78	0.78	0.81	1.23	1.18	1.27	1.14	1.32	0	0	0	0	0
Tessin	27.3	28.3	28	28.7	28.7	0.68	0.71	0.77	0.79	0.77	0	0	0	0	0
NMB	0.58	0.63	0.63	0.67	0.68	0.8	0.8	0.77	0.74	0.71	0	0	0	0	0
Engadin	1.19	1.19	1.22	1.19	1.19	1.05	1.11	1.11	1.11	1.11	0	0	0	0	0

Die Regionen Wallis und Engadin zeigen mit 0.1 bis 0.2 die geringsten Anteile falscher Prognosen. Dies wird auch im Verhältnis der vorhergesagten und beobachteten Ereignisse deutlich, welches in den beiden Regionen bei 1 ± 0.2 liegt, während die Regionen Tessin und NMB, resp. höhere Bias-Werte zeigen. Insbesondere für die Region Tessin ist der Bias deutlich grösser als 1, was eine Überschätzung der Anzahl Ereignisse bedeutet (*over-*

forecasting). Dies korreliert wiederum mit dem hohen Anteil falscher Vorhersagen in der Region Tessin ($FAR = 0.96$). Für die Region Tessin beträgt der Anteil vorhergesagter Trockenheit 100%, was daran liegt, dass der POD lediglich von den *Treffern* und *Verfehlen* abhängig ist, welche in der Region Tessin für den Abfluss 1.6% und 0% betragen. In den Regionen Wallis und NMB wurde ein Abflussdefizit öfters verpasst, als fälschlicherweise vorhergesagt. In der Region Engadin hingegen wurde ein Abflussdefizit häufiger fälschlicherweise prognostiziert, als verpasst. Während in den Regionen Wallis und Engadin Abflussdefizite mit derselben Trockenheitsstufe vorhergesagt wurden, wie sie auch beobachtet werden konnten, kann bei der Region NMB mit zunehmender Vorhersagezeit ein zunehmender Anteil überschätzter Prognosen erkannt werden. Etwas weniger oft wurde das Abflussdefizit unterschätzt.

Die **Bodenfeuchtedefizitvorhersagen** zeigen gegenüber den anderen Parameterprognosen die höchsten Trefferraten bis zu 0.91. Die durchschnittliche Trefferrate der Bodenfeuchteprognosen variiert zwischen 0.75 und 0.9 und nimmt mit zunehmender Vorlaufzeit in allen Regionen leicht ab. Auch hier werden die Werte der Trefferrate durch die hohe Anzahl *negativer Treffer* bestimmt. Entsprechend ist der Anteil Vorhergesagter Ereignisse für alle Regionen mit durchschnittlichen 0.52 ± 0.15 etwas geringer als für die Abflussprognosen. Der Anteil falscher Vorhersagen ist mit 0.56 bis 0.62 und mit 0.45 bis 0.52 in den Regionen Wallis und Engadin höher als in den Regionen Tessin und NMB. In der Region Tessin wurden insgesamt am meisten Tage mit Bodenfeuchtedefiziten beobachtet und gleichzeitig auch am meisten Ereignisse verfehlt ($Bias = 0.68$ bis 0.79). In der Region NMB wurden insgesamt weniger Tage mit Bodenfeuchtedefizit gezählt, jedoch ist das Verhältnis vorhergesagter und beobachteter Trockenheit ähnlich hoch, so dass die Modellierung in beiden Regionen die Anzahl Ereignisse unterschätzen. In den Regionen Wallis und Engadin wurden noch weniger Tage mit Bodenfeuchtedefizit gezählt, jedoch wurden in beiden Regionen mehr Tage mit einem Bodenfeuchtedefizit erwartet, als tatsächlich registriert wurden (*over-forecasted*). In allen vier Regionen wurde ein vorhergesagtes Bodenfeuchtedefizit mit zunehmender Vorlaufzeit eher überschätzt und nur in den Regionen Tessin und Engadin vereinzelt auch unterschätzt.

Die Trefferrate der **Niederschlagsdefizitprognosen** liegt bei allen Regionen zwischen 0.68 und 0.76 und zeigt mit zunehmender Vorlaufzeit nur eine geringe Abnahme. Auffallend ist, dass in allen vier Regionen nie ein Niederschlagsdefizit vorhergesagt wurde, weshalb nur *negative Treffer* und *Verfehlen* gezählt wurden (Abbildung 35). Entsprechend sind der Bias und der Anteil vorhergesagter Ereignisse Null und der Anteil falscher Vorhersagen nicht definierbar.

Fazit

Die bis zu 75%-Anteile *negativer Treffer* führen zu den allgemein hohen Trefferraten. Innerhalb einer Vorhersage (Tag 1 bis 5) variiert die Trefferrate um maximal 0.07. Gleichzeitig nimmt die Trefferrate mit zunehmender Vorlaufzeit nicht immer nur ab, sondern verhält sich teils schwankend oder nimmt sogar leicht zu. Im Durchschnitt, mit Ausnahme der Abflussdefizitprognosen im Tessin, wurden lediglich 55 bis 60% der beobachteten Abfluss- und Bodenfeuchtedefizite vorhergesagt. Im Allgemeinen wurde ein Defizit häufiger verpasst als fälschlicherweise prognostiziert (auch hier mit Ausnahme der Abflussdefizitprognosen im Tessin). Weiter zeigt sich, dass bei richtig vorhergesagten Defiziten auch die Trockenheitsstufe weitgehend korrekt prognostiziert wurde, nur in der Region NMB wurde vermehrt eine höhere Trockenheitsstufe prognostiziert als beobachtet. Für die Bodenfeuchtedefizitprognosen werden bei allen Regionen höhere Trefferraten erzielt, als für die Abflussdefizitprognosen, jedoch sind auch die Anteile *falscher Alarme* (FAR) mit 0.3 bis 0.6 höher (Ausnahme Abflussprognosen für Tessin), womit die Prognosegüte der Bodenfeuchtedefizite relativiert werden muss. Bei den Abflussdefizitprognosen erreichen die Regionen NMB und Engadin die höchsten Trefferraten, jedoch ist nur in der Region NMB gleichzeitig auch der durchschnittliche Anteil falscher Prognosen mit 0.2 gering.

4.4.2 Monatsvorhersagen

Analyse der nachberechneten Monatsvorhersagen

Die chronologische Auflistung der vorhergesagten Wasserdefizite je Parameter befinden sich im Anhang 7.

In den östlichen Voralpen herrschte ab dem 2.7. bis zum 15.9. ein anhaltendes **Abflussdefizit**. Ein mittleres bis grosses Abflussdefizit wurde Mitte Juli, Anfang und Ende August sowie Mitte September auf der Alpennordseite, ausser im Jura, registriert. Der Jura erlebte von Juli bis September gemäss `drought.ch` kein Abflussdefizit. Im Wallis, Engadin und Nord- und Mittelbünden wurden von Mitte Juli bis Mitte September vorwiegend leichte Abflussdefizite verzeichnet. Für das Tessin wurde in dieser Zeit lediglich an drei Tagen ein leicht unterdurchschnittlicher Abfluss angezeigt.

Die Monatsvorhersagen vom 4.6. deuteten auf ein zunehmendes Abflussdefizit in den östlichen Voralpen hin. Die zwischenzeitliche Entspannung der Situation während der zweiten Augushälfte und das zunehmende Abflussdefizit Mitte September wurden dabei angedeutet. Mit den Prognosen vom 11.6. wurde das grosse Abflussdefizit Mitte Juli vorhergesagt. Auch die zweite Phase mit einem grossen Abflussdefizit Anfang August wurde mit den Vorhersagen vom 2.7. bereits einen Monat im Voraus angezeigt. Die Monatsvorhersagen von Mitte bis Ende Juli deuteten darauf hin, dass für die Regionen der östli-

chen Voralpen für Ende August ein weiteres, grosses Abflussdefizit erwartet werden konnte. Tatsächlich wurde Ende August ein Defizit, jedoch ein mittleres, registriert. Das grosse Abflussdefizit von Mitte September zeichnete sich in den Vorhersagen vom 20.8. ab. Den Monatsvorhersagen zufolge mussten in der Ajoie von Juli bis Mitte September grosse Abflussdefizite erwartet werden. Auch in den übrigen Regionen des Juras wurden ab dem 2.7. ein anhaltendes leichtes bis mittleres Abflussdefizit prognostiziert. Damit wurden grössere Abflussdefizite prognostiziert, als in der Region Jura tatsächlich beobachtet wurden. Für die Regionen des Mittellands zeigen die Monatsvorhersagen ab dem 25.6. jeweils eine Zunahme des Abflussdefizits. Nur in den Regionen Aargau und Oberrhein sowie bei Schaffhausen wurde kein oder ein leichtes Abflussdefizit erwartet. Das grösste Abflussdefizit wurde in den Regionen rund um den Zürich- und Zugersee per Mitte August erwartet. Den Abflussdefizitprognosen für die Genferseeregion zufolge wurde das grösste Defizit zwischen dem 20. und 23.8. vorhergesagt. Für die Regionen des Wallis und der Waadtländer Alpen wurden ab Ende Mai bis Anfang August ein nahezu anhaltendes grosses Abflussdefizit prognostiziert und die Monatsvorhersagen der Regionen des Tessins zeigten ab Anfang Juli bis Mitte September anhaltende Abflussdefizite. Damit wurde ein grösseres Defizit erwartet, als es die tatsächlich registrierten Informationen zum Abfluss in den Regionen Wallis und Tessin anzeigten. Nord- und Mittelbünden erlebte von Juli bis Ende August ein beinahe anhaltendes leichtes bis mittleres Abflussdefizit. Auch die Monatsvorhersagen zeigten dieses Abflussdefizit an, jedoch ging aus der Monatsvorhersage vom 9.7. eine Zunahme des Defizits hervor, welche bei den publizierten Werten nicht beobachtet werden konnte. Bei der darauffolgenden Prognose wurde für Anfang August ein Rückgang des Abflussdefizits erwartet, welcher nicht mit den automatisch generierten Trockenheitsstufen einher geht. In der Vorhersage vom 2.7. wurde für das Engadin ab Mitte Juli ein verbreitetes Abflussdefizit erwartet. Tatsächlich wurde bereits ab dem 5.7. ein leichtes Abflussdefizit registriert.

Bereits am 23.7 zeigte die Monatsvorhersage ab dem 20.8. ein schweizweit herrschendes Abflussdefizit an und auch die darauffolgenden Prognosen deuteten auf verbreitete Abflussdefizite hin. Erst ab Mitte August wurde mit einer Entspannung der Situation gerechnet. Die automatisch zugeordneten Trockenheitsstufen deuteten in dieser Zeit auf eine weniger aussergewöhnliche Situation hin, als mit den Vorhersagen angedeutet wurde. In allen Regionen wurde das Abflussdefizit eher überschätzt und jeweils früher erwartet, als es tatsächlich eintrat. Dies zeigt sich insbesondere im Jura, Wallis und Tessin. Lediglich in vereinzelten Fällen wurde ein Abflussdefizit unterschätzt.

Zwischen dem 28.6. und 25.7. wurden schweizweit mehrere Tage mit leichtem bis grossem **Bodenfeuchtedefizit** registriert. Insbesondere im Jura herrschte während neun Tagen ein grosses Bodenfeuchtedefizit. In der Nordostschweiz und im Wallis war das Bodenfeuchtedefizit in dieser Zeit weniger stark ausgeprägt als in den übrigen Regionen.

Ende Juli setzte im Jura und Mittelland erneut ein leichtes bis mittleres Bodenfeuchtedefizit ein, welches bis Mitte August anhielt. Die übrigen Regionen verzeichneten in dieser Zeit nur an einzelnen Tagen einen Bodenfeuchtemangel. Vom 29.8. bis 1.9. zeigten alle Regionen ein Bodenfeuchtedefizit an und Mitte September wurde erneut für das Jura und das Mittelland ein Bodenfeuchtedefizit angezeigt.

Bereits am 11.6. zeigte die Monatsvorhersage ab dem 25.6. im Jura und den westlichen Regionen des Mittellands sowie im Tessin ein bis Mitte Juli zunehmendes Bodenfeuchtedefizit an. Die Vorhersagen vom 25.6. bestärkten diese Prognosen und wiesen auf ein weiter anhaltendes und sich Richtung Osten ausbreitendes Bodenfeuchtedefizit hin. Auch die Prognosen vom 2.7. zeigten insbesondere im Jura, Südtessin und Mittelland bis in Teilen der Voralpen leichte bis grosse Bodentrockenheit an. Am 9.7. wurde kurzfristig für fast alle 57 Regionen leichtes bis verbreitet grosses Bodenfeuchtedefizit prognostiziert, welches mittelfristig nur noch in den Regionen Jura, Mittelland und Tessin erwartet wurde. Ähnlich zeigten sich auch die Vorhersagen vom 16.7., welche bis Mitte August einen Rückgang des Bodenfeuchtedefizits voraussagten. Am 23.7. wurde bis zum 21.8. wieder mit einer Zunahme des Bodenfeuchtedefizits gerechnet, welches erneut die Regionen Jura, Mittelland und Tessin betraf. Gemäss den darauffolgenden Monatsvorhersagen konnte bis zum 20.9. ein kontinuierlicher Rückgang des Bodenfeuchtedefizits erwartet werden.

Im Vergleich mit den publizierten Werten zur Bodenfeuchtigkeit, überschätzten die Monatsvorhersagen die Situation in den Regionen im Jura, Mittelland und Tessin. Den nachberechneten Monatsvorhersagen zufolge hätte ein Bodenfeuchtedefizit stets früher und mit grösserer Intensität erwartet werden müssen. Die tatsächlich eingetretenen Bodenfeuchtedefizite hätten mit den Monatsvorhersagen bis zu einem Monat im Voraus erkannt werden können. Hingegen zeigten die Monatsvorhersagen die zwischenzeitliche Entspannung der Situationen, welche aus den publizierten Trockenheitsstufen für die neun Regionen hervorgeht, nicht an. Gemäss den publizierten Übersichtskarten zum **Niederschlag**, galt in der Schweiz, ausser im Tessin, vom 6. Bis 24.7. ein verbreitetes Niederschlagsdefizit. Eine zweite Periode mit leichtem bis mittleren Niederschlagsdefizit herrschte von Anfang bis Mitte September in den Regionen Jura, Mittelland, Voralpen und Wallis.

Die nachberechneten Monatsvorhersagen zeigen vom 28.5. bis und mit 18.9.15 nur vereinzelte Niederschlagsdefizite an. Ende Juni wurde im östlichen Mittelland und in der Zentralschweiz per Anfang Juli ein leichtes Niederschlagsdefizit prognostiziert. Bis Anfang August wurden nur noch vereinzelt in den Regionen Zürich und Aargau Niederschlagsdefizite vorhergesagt. Auffällig ist, dass Niederschlagsdefizite kaum im Voraus erkannt wurden. Meistens wurden die Defizite lediglich für den 1. Tag der Vorhersage registriert. Nur einmal wurde ein Niederschlagsdefizit 25 Tage im Voraus angezeigt.

Auswertung der Monatsvorhersagen

GMRAE

Bei den **Abflussdefizitvorhersagen** zeigen die Prognosen mit den Wettervorhersagen des ENS geringere absolute Fehler, als die Abflussvorhersagen mit den Werten der Klimatologie. Für die Sommermonate 2015 steigt der GMRAE mit zunehmender Vorlaufzeit lediglich in den östlichen Regionen des Wallis und Berner Oberland, sowie in der Region Entremont über 1 (Anhang 8). Für die Herbstmonate 2015 zeigen zusätzlich auch die Gebiete Reusstal, Mittelbünden und Engadin einen GMRAE über 1. Bei der Vergleichsperiode ist ein $\text{GMRAE} > 1$ weiter verbreitet, als bei den Abflussprognosen für den Sommer und Herbst 2015.

Der GMRAE der **Bodenfeuchtedefizitprognosen** nimmt mit zunehmender Vorlaufzeit in fast allen Regionen zu und erreicht auch verbreitet Werte > 1 . Bei den Modellierungen für die Herbstmonate 2015 zeigt sich diese Tendenz noch deutlicher als bei den Prognosen für die Sommermonate 2015 und den Vorhersagen für die Vergleichsperioden. Bei den Vorhersagen für die Sommermonate erweisen sich die Prognosen mit ENS bis zu einer Vorlaufzeit von 21 Tagen verbreitet als bessere Prognosen. Nur in Gebieten der Westschweiz und östlichen Voralpen, sowie im Wallis, in den Waadtländer und im Berner Alpen steigt der GMRAE bei dieser Vorlaufzeit über 1. Für die Vergleichsperiode zeigt sich bereits bei einer Vorlaufzeit von 7 Tagen ein $\text{GMRAE} > 1$. Bei den Monatsvorhersagen vom Herbst 2015 ist der GMRAE im Zentral- bis Oberwallis, sowie im Prätigau bereits bei einer Vorlaufzeit von sieben Tagen über eins. Bei zunehmender Vorlaufzeit steigt der GMRAE in fast allen Regionen über 1 und im Wallis und Reusstal über 2. Auffallend ist, dass unabhängig von der der Jahreszeit stets im Wallis als erstes ein $\text{GMRAE} > 1$ beobachtet werden kann.

Betreffend **Niederschlag** zeigen die Trockenheitsprognosen mit ENS verbreitet und über alle Vorlaufzeiten geringere Fehler als die Prognosen mit der Klimatologie. Während den Sommermonaten erweist sich die Klimatologie nur für 21 Tage Vorlaufzeit in einigen Regionen des Mittellands und des Berner Oberlands sowie im Engadin als bessere Grundlage der Trockenheitsvorhersagen. Im Herbst fallen bei einer Vorlaufzeit von 21 Tagen einzelne Regionen der westlichen Voralpen auf, in welchen die Prognose mit der Klimatologie besser sind, als jene mit den meteorologischen Vorhersagen. Die Auswertungen der Prognosen für die Sommer- und Herbstmonate 2015 zeigen vergleichbare Muster der Entwicklung des GMRAE wie bei den Auswertungen der Vorhersagen der Vergleichsperioden.

Kontingenztabellen

Bei der Auswertung der **Abflussdefizitprognosen** für das Wallis variiert der Anteil *Treffer* zwischen 30 und 75%, wobei ein richtig vorhergesagtes Abflussdefizit ab dem zweiten Vorhersagetag in den meisten Fällen überschätzt wird (Abbildung 36). Ab dem fünften Tag werden nur noch *Treffer* und *falsche Alarme* gezählt. Der Anteil *negativer Treffer* nimmt vom ersten bis zum vierten Vorlauftag von 19 auf 6% ab. In der Region Tessin nimmt der Anteil *negativer Treffer* mit zunehmender Vorlaufzeit ab. Der Anteil *falscher Alarme* beträgt bereits für den ersten Tag über 50% und nimmt mit zunehmender Vorlaufzeit weiter zu. Da im Tessin nur einzelne Abflussdefizite registriert wurden, ist auch der Anteil *Treffer* entsprechend gering. In der Region Nord- und Mittelbünden nimmt der Anteil *Treffer* mit zunehmender Vorlaufzeit leicht zu. Über alle Vorlaufzeiten gemittelt wurde die Trockenheitsstufe bei 16% der Vorhersagen überschätzt und lediglich bei 2.5% unterschätzt. Der Anteil *falscher Alarme* nimmt mit zunehmender Vorlaufzeit leicht zu und ist mit 19 bis 63% etwas geringer als bei den Vorhersagen für das Wallis. In der Region Engadin nimmt der Anteil richtiger Vorhersagen mit zunehmender Vorlaufzeit leicht zu, während der Anteil *negativer Treffer* zunächst abnimmt und während den letzten Tagen der Prognosen wieder leicht ansteigt. Abflussdefizite wurden häufiger überschätzt als unterschätzt und der Anteil *falscher Alarme* nimmt zunächst deutlich zu und ab dem 21. Tag wieder leicht ab.

Abfluss

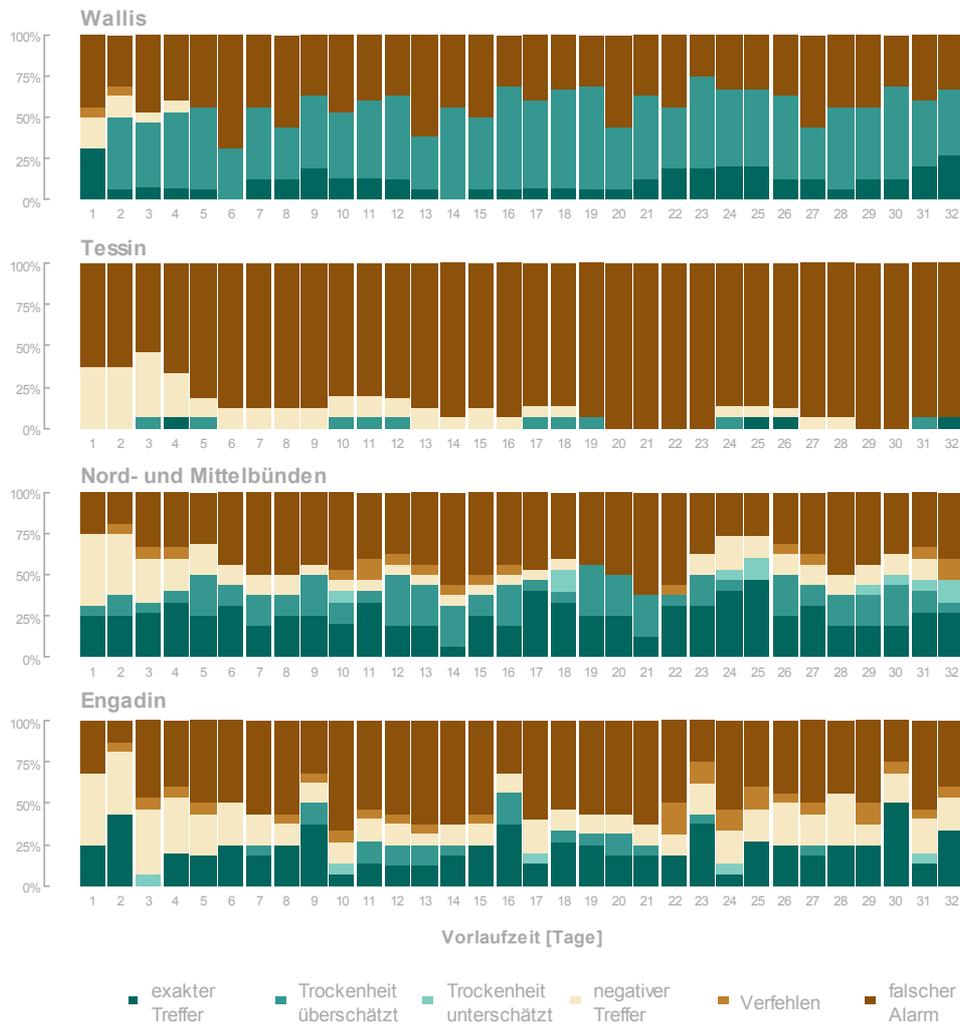


Abbildung 36: Anteil Treffer, negativer Treffer, Verfehlen und falscher Alarme je Vorlaufzeit der Abflussprognosen in den Regionen Wallis, Tessin, Nord- und Mittelbünden und Engadin.

Bei der Auswertung der **Bodenfeuchtedefizitvorhersagen** für die Regionen Wallis, Nord- und Mittelbünden und Engadin dominiert der Anteil *negativer Treffer* mit 63 bis 94% (Abbildung 37). In der Region Nord- und Mittelbünden nimmt der Anteil *Treffer* ab dem zweiten Tag mit zunehmender Vorlaufzeit ab. Eine Zunahme des Anteils verfehlter Ereignisse kann mit zunehmender Vorlaufzeit bei allen vier Regionen beobachtet werden. In der Region Tessin variiert der Anteil *Treffer* zwischen 10 und 30% (ausser am 26. Tag: 0%). Dabei wird das Bodenfeuchtedefizit häufiger überschätzt als unterschätzt. Der Anteil *falscher Alarme* variiert zwischen 20 und 40%.

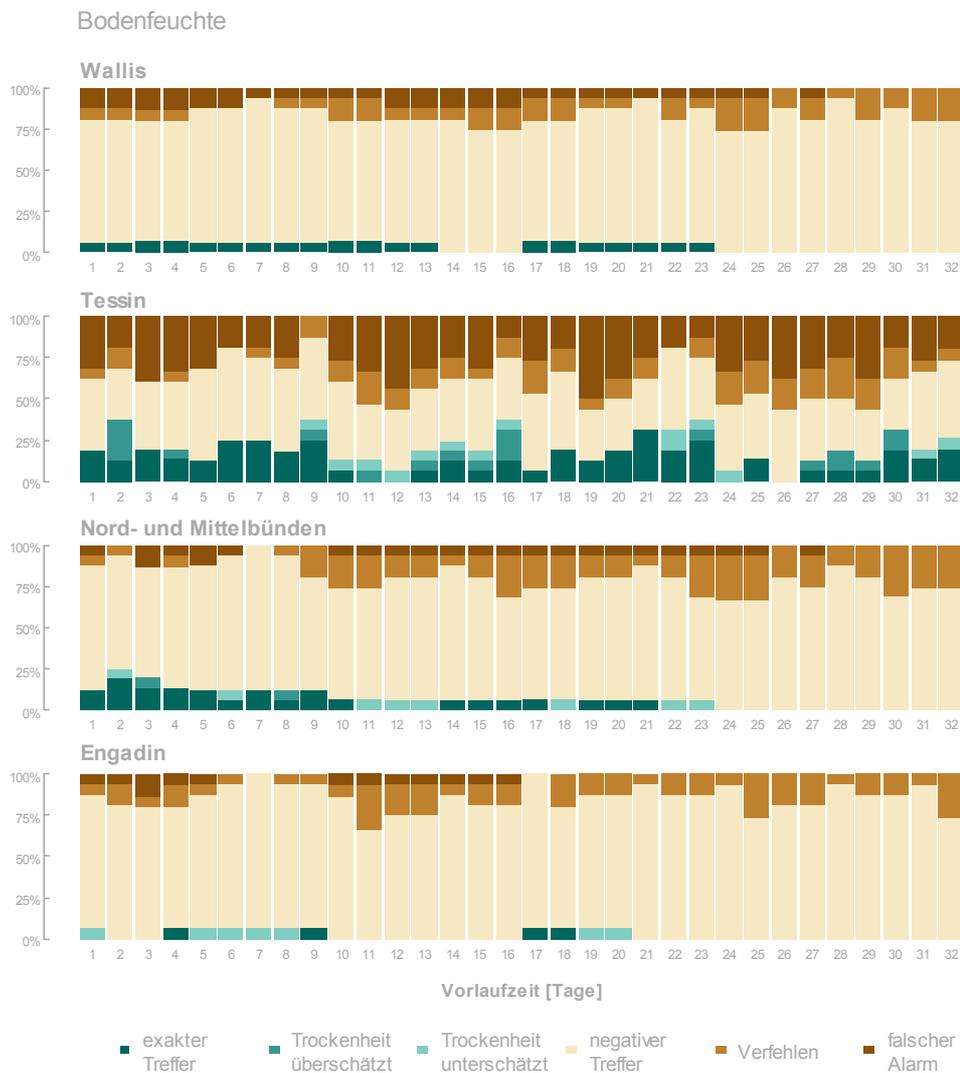


Abbildung 37: Anteil Treffer, negativer Treffer, Verfehlen und falscher Alarme je Vorlaufzeit der Bodenfeuch-
teprognosen in den Regionen Wallis, Tessin, Nord- und Mittelbünden und Engadin.

Bei der Auswertung der **Niederschlagsdefizitprognosen** beträgt der Anteil *negativer Treffer* in allen Regionen $88.3 \pm 10\%$ (Abbildung 38). Im Wallis, Tessin und Nord- und Mittelbünden nimmt der Anteil *falscher Alarme* mit zunehmender Vorlaufzeit ab. Bei den Trockenheitsvorhersagen fürs Wallis nimmt der Anteil verfehlter Niederschlagsdefizite mit zunehmender Vorlaufzeit zu. In der Region Tessin wurde im untersuchten Zeitraum kein Niederschlagsdefizit beobachtet, weshalb nur *negative Treffer* und *falsche Alarme* gezählt werden. In der Region Engadin wurde nie ein Niederschlagsdefizit vorhergesagt, weshalb nur *negative Treffer* und verfehlte Ereignisse angezeigt werden.

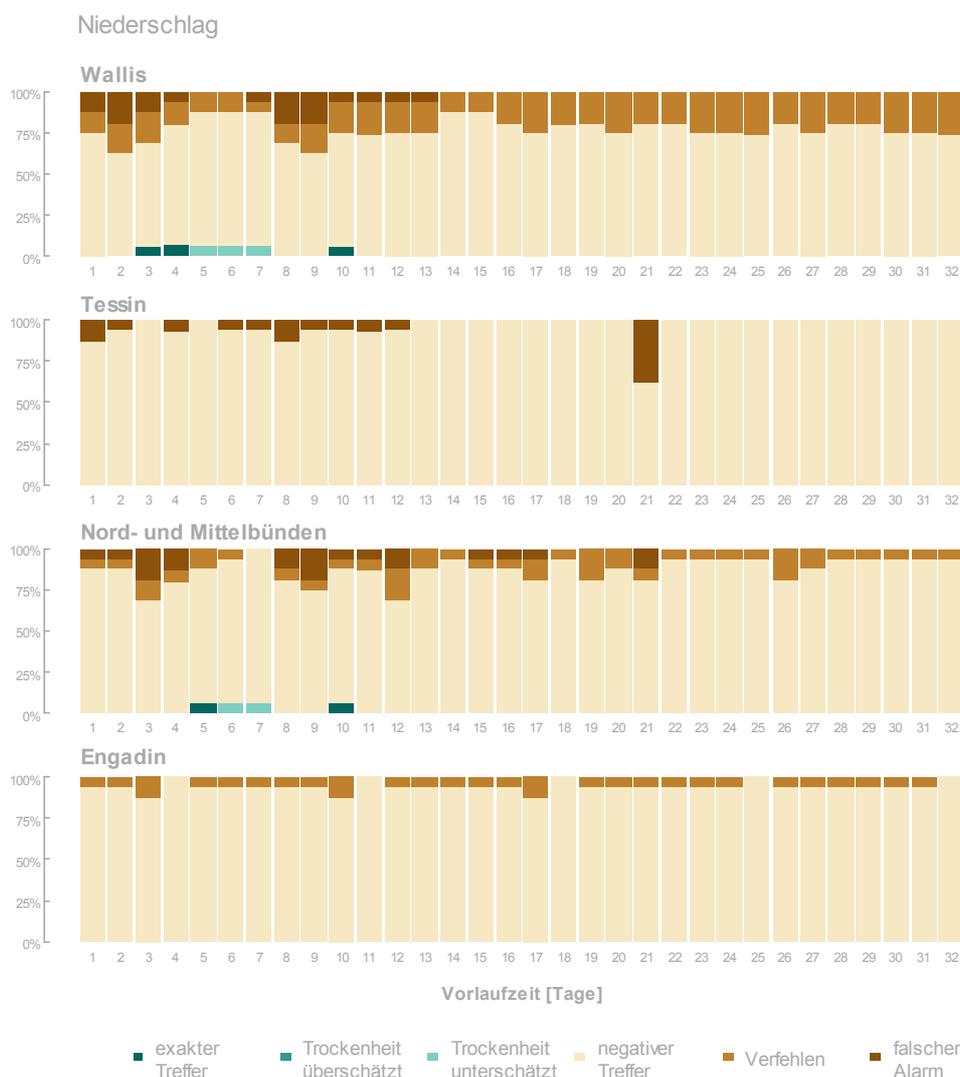


Abbildung 38: Anteil Treffer, negativer Treffer, Verfehlen und falscher Alarme je Vorlaufzeit der Niederschlagsprognosen in den Regionen Wallis, Tessin, Nord- und Mittelbünden und Engadin.

Bei den Abflussdefizitprognosen kann mit zunehmender Vorlaufzeit eine leichte Abnahme der Trefferrate beobachtet werden (Abbildung 39). Weil der Anteil *negativer Treffer* bei den Bodenfeuchte- und Niederschlagsdefizitprognosen dominiert, sind die Trefferraten entsprechend hoch und geben ein verzerrtes Bild der Modellgüte wider. Aufgrund der Verteilung der Anteile *Treffer*, *negative Treffer*, *Verfehlen* und *falsche Alarme* konnten

für die Auswertungen der Monatsvorhersagen keine weiteren Gütemasse (Ausnahme Bias für den Abfluss) berechnet werden, welche eine Interpretation der Trockenheitsvorhersagen erlauben. Aus der Analyse der Kontingenztabelle gehen keine eindeutigen Trends hervor. Was auffällt ist, dass bei den Abflussprognosen in allen Regionen zu oft Abflussdefizite vorhergesagt werden (hoher Anteil *falscher Alarme*). Der Bias, welcher bei allen Vorlaufzeiten über 1 liegt, bestätigt diese Beobachtung (nicht abgebildet).

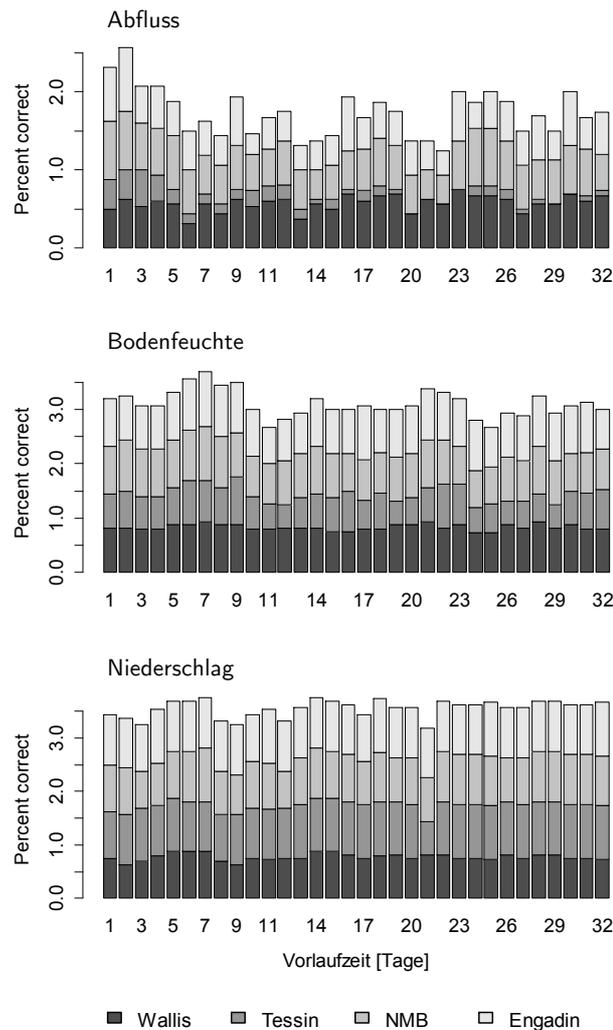


Abbildung 39: Trefferrate (*Percent correct*) der Monatsvorhersagen der Parameter Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag.

Fazit

Der Vergleich der Monatsvorhersagen mit den publizierten Trockenheitsstufen zeigt, dass die Monatsvorhersagen zu früh vor einer Trockenheit gewarnt hätten und auch höhere Intensitäten prognostiziert hätten. Bei den Monatsvorhersagen der verschiedenen Parameter erweisen sich die Wettervorhersagen als bessere Grundlage als die Klimatologie. Eine Ausnahme zeigt sich bei der Bodenfeuchteprognose, bei welcher im Vergleich zu den anderen Parametern am häufigsten ein GMRAE über 1 und über 2 angezeigt wird. Bei den Abfluss- als auch bei den Bodenfeuchteprognosen zeigen die Prognosen für die Herbst-

monate häufiger einen GMRAE > 1 an, als während den Sommermonaten. Im Wallis, aber auch in weiteren Regionen der Alpen, zeigen die Prognosen mit ENS teilweise deutlich grössere Fehler, als die Modellierung mit der Klimatologie. Für diese Regionen wurden auch die Kontingenztabelle erstellt und analysiert. Aus diesen lassen sich keine eindeutigen Trends erkennen. Was sich zeigt ist, dass Abflussdefizite zu oft und zu intensiv vorhergesagt werden, während Niederschlagsdefizite nur vereinzelt prognostiziert wurden.

4.4.3 Anmerkung zur Auswertung der Trockenheitsvorhersagen

Bei der Analyse der Trockenheitsprognosen muss berücksichtigt werden, dass die Beobachtungen und die Prognosen unterschiedliche räumliche Auflösungen aufweisen. Für den Vergleich der Vorhersagen und Beobachtungswerte mussten je nach Region die prognostizierten Trockenheitsstufen von fünf bis sieben kleineren Regionen gemittelt werden (Tabelle 9; vgl. Kap. 2.3). Insbesondere bei den Parameter Abfluss und Bodenfeuchte unterscheiden sich die Trockenheitsstufen der Kleinregionen innerhalb einer Grossregion um bis zu drei Stufen. Bei den Niederschlagsdefizitprognosen sind die Unterschiede innerhalb einer Grossregion mit 0.04 bis 0.2, respektive 0.03 bis 1 deutlich geringer. Durch die räumlichen Aggregation der Daten gehen damit vor allem bei den Parameter Abfluss und Bodenfeuchte Vorhersageinformationen verloren.

Weiter lässt der geringe Stichprobenumfang von 16 Monatsvorhersagen keine eindeutige Verifizierung zu. Die hier vorgelegte Auswertung stellt lediglich eine erste Analyse der Monatsprognosen dar, welche mit vielen Unsicherheiten behaftet ist.

Tabelle 9: Anzahl Kleinregionen mit Prognoseinformationen (Zahl in Klammern) welche je Grossregion gemittelt wurden und durchschnittliche, minimale und maximale Differenz der geringsten und höchsten Trockenheitsstufe innerhalb einer Grossregion für die 5-Tages-Vorhersagen und die Monatsvorhersagen.

Region	5-Tages-Vorhersagen				Monatsvorhersagen			
	W (7)	T (6)	NMB (5)	E (6)	W (7)	T (6)	NMB (5)	E (6)
Abfluss								
Mittel	1.3	0.8	0.5	1.1	1.32	1.38	1.18	2.27
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	2.7	2.8	1.8	3	2.75	3	2.21	3
Bodenfeuchte								
Mittel	0.4	0.6	0.2	0.3	0.52	1.35	0.22	0.21
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	2.6	3	1.9	3	2.71	3	1.67	3
Niederschlag								
Mittel	0.1	0.2	0.04	0.05	0.09	0.08	0.06	0.03
Min	0	0	0	0	0	0	0	0
Max	0.67	1.5	0.27	0.5	1	1	1	1

5 Diskussion - Synthese der Analysen

Die zweite Jahreshälfte 2015 brachte für die Schweiz Phasen aussergewöhnlicher Trockenheit mit sich. Dies zeigten nicht nur die Informationen auf `drought.ch`, sondern auch in den Medien wurde über Trockenheit und deren Folgen berichtet. Während den Sommermonaten wurden mehrere kurzanhaltende Trockenheitsereignisse beobachtet, während im November und Dezember bis Anfang 2016 zwei anhaltende, schweizweite Trockenperioden registriert wurden.

Die Analyse der räumlichen Verteilung der Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage und der verschiedenen Parameter zeigt, dass auf `drought.ch` räumlich-zeitliche Merkmale von Trockenheitsereignissen, wie sie unter anderem von Van Loon (2015) beschrieben wurden, wiedergegeben werden. Eine *Vereinigung* aufeinanderfolgender meteorologischer Trockenheitsereignisse konnte in der Ostschweiz (öM, öV und NMB) insbesondere während den Sommermonaten, im östlichen Mittelland jedoch bis Ende Jahr, beobachtet werden. Dabei wurden einzelne Niederschlagsdefizitereignisse durch darauffolgende Abflussdefizite und Niedrigwasserstände der Seen und Speicher zu einem anhaltenden hydrologischen Trockenheitsereignis vereinigt. *Verzögerung* zeigte sich insofern, als dass Niedrigwasserstände der Seen und Speicher immer erst auf ein Wasserdefizit eines anderen Parameters folgten, oder aber auch dadurch, dass anhaltende Niedrigwasserstände erst gegen Ende Jahr auftraten, so wie dies bei den Regionen Wallis, Tessin und Engadin beobachtet werden kann. Beim Abfluss kann die verzögerte Auswirkung der Niederschlagsdefizite ebenfalls erkannt werden. Auffallend sind beispielsweise die nach einer anhaltenden Trockenheit immer wieder auftretenden Abflussdefizite, wie sie im westlichen Mittelland, Wallis und Engadin verzeichnet wurden. Auch die *Verlängerung* von Trockenheitsereignissen konnte in allen Regionen beobachtet werden. Am deutlichsten zeigte sich dieser Effekt bei den Kenngrössen Abfluss und Speicher und Seen.

Meistens zeigen sich die Folgen einer Trockenheit zunächst im Landwirtschaftssektor (Wilhite, 2000), was auch beim Trockenheitsereignis 2015 in der Schweiz der Fall war und anhand der Medienanalyse bestätigt werden kann. Bereits im Juli wurde in den Medien vom Bewässerungsbedarf der landwirtschaftlichen Kulturen und von schwachen Ernteerträgen berichtet. Ende August wurden ausgetrocknete Weiden im Waadt und Jura thematisiert. Auf `drought.ch` wurde die landwirtschaftliche Trockenheit zu dieser Zeit ebenfalls sichtbar: in allen Regionen wurden immer wieder Bodenfeuchtedefizite registriert, besonders ausgeprägt im Jura, im Mittelland und im Tessin. Ein Zusammenhang zwischen dem Zeitpunkt der publizierten Medienberichte und den Defizitanzeigen auf `drought.ch` kann auch bei Niederschlags- und Schneedefiziten festgestellt werden.

In Regionen, in welchen die Bewässerung landwirtschaftlicher Kulturen während Trockenperioden beinahe flächendeckend unabdingbar ist (Fuhrer, 2010), mussten den Medienberichten zufolge Mitte Juli und spätestens Anfang August Wasserentnahmeverbote für Oberflächengewässer verhängt werden. Zu den betroffenen Regionen gehörten der Jura, das östliche und westliche Mittelland und die westlichen Voralpen. Auch die Informationen auf drought.ch vermittelten zu dieser Zeit ein ähnliches Bild. Die Mittellandregionen und die westlichen Voralpen zeigten von Juli bis Mitte August leichtes bis mittleres Abflussdefizit. Weiter wurden auch im Wallis, Nord- und Mittelbünden und Engadin Abflussdefizite angezeigt. Auffallend ist, dass auf drought.ch für den Jura während den Sommermonaten kein Abflussdefizit registriert wurde, obschon in den Medien mehrmals darüber berichtet wurde. Auch der Vergleich der gemessenen Abflusswerte mit den Abflusswerten der Klimatologie zeigen für die Region Jura ein ähnlich grosses Abflussdefizit an, wie Regionen, welche auf drought.ch während dieser Zeit entsprechende Defizite anzeigten (Anhang 2). Demnach bleibt unklar, weshalb auf drought.ch für die Region Jura kein Abflussdefizit angezeigt wurde.

Waldbrände, Waldbrandgefahr und Feuerverbote sorgten während der zweiten Jahreshälfte 2015, insbesondere im Juli, August, November und Dezember wiederholt für Schlagzeilen. Dies nicht zuletzt, weil auch am Nationalfeiertag und an Sylvester Feuerverbote drohten. Obschon auf drought.ch lediglich auf eingeschränktes Wasserdargebot im Wald und nicht auf Waldbrandgefahr hingewiesen wird, besteht ein Zusammenhang zwischen Trockenheit im Wald, Waldbrandgefahr und Feuerverboten (im Wald oder im Freien allgemein; Gudmundsson et al., 2014). Auf drought.ch äusserte sich dieser Zusammenhang insofern, als dass in der Region Tessin während der zweiten Jahreshälfte an fast doppelt so vielen Tagen Trockenheit im Wald herrschte wie in allen anderen Regionen und den Medienbeiträgen zufolge gleichzeitig am häufigsten von erhöhter Waldbrandgefahr und Feuerverboten betroffen war.

Mit dem Ziel eine Grundlage zur Erfassung und Erforschung der Folgen von Trockenheit zu generieren, erstellten Stahl et al. (2016) die EDII (European Drought Impact report Inventory), eine Datenbank mit Berichten über Auswirkungen von Trockenheit. Stahl et al. (2016) stellten fest, dass die Folgen der Trockenheit in der Landwirtschaft und bei der Wasserversorgung am häufigsten dokumentiert wurden. Auch wenn im Rahmen der vorliegenden Arbeit weit weniger Medienberichte recherchiert wurden, konnte dieser Trend ebenfalls festgestellt werden. In den Schweizer Medien wird zudem auch das Thema Waldbrandgefahr vermehrt aufgegriffen. Die vielseitigen Auswirkungen einer Trockenheit (Lackstrom et al., 2013), konnten mit der Analyse der Medienbeiträge zum Thema Trockenheit erfasst werden. Die im November und Dezember erschienenen Medienberichte zu Wasserversorgungsengpässen und reduzierter Stromproduktion infolge der Niederschlagsdefizite, zeigen deutlich, dass Folgen einer Trockenheit teils erst mit (grosser)

Verzögerung aus sozioökonomischer Sicht relevant werden (Wilhite, 2000). Der Zusammenhang zwischen den auf drought.ch dargestellten Trockenheitsinformationen und den Berichten über Trockenheit in der Schweiz ist klar erkennbar. Um das Verständnis bezüglich Trockenheit und den damit Verbundenen Prozessen zu erweitern, sollen die ökologischen und sozioökonomischen Auswirkungen von Trockenheit bei der Erforschung von Trockenheitsereignissen miteinbezogen werden.

Der Vergleich der Anzahl Besuche mit der mittlerer Trockenheitsstufe pro Tag während der zweiten Jahreshälfte 2015 lässt keine Korrelation erkennen. Während den Sommermonaten, vor allem im Juli, war das Interesse an Trockenheitsinformationen deutlich grösser, als während den Wintermonaten, obschon die durchschnittliche Trockenheit aller Regionen im November am höchsten und im Juli und Dezember ähnlich hoch war (Abbildung 40). Auch wenn die durch die Medienpräsenz der Informationsplattform bedingten Besuchsmaxima nicht berücksichtigt werden, kann keine eindeutige Korrelation festgestellt werden (der monatliche Durchschnitt für die Anzahl Besuche pro Tage liegt dann für den Juli noch bei 171 Besuchen). Erst wenn die pro Monat gemittelten Grössen verglichen werden, besteht eine sehr geringe Korrelation zwischen Anzahl Besuchen und mittlerer Trockenheitsstufe. Das Interesse an Trockenheitsinformationen hängt damit eher vom saisonalen Zeitpunkt des Trockenheitsereignisses als von seiner Intensität ab.

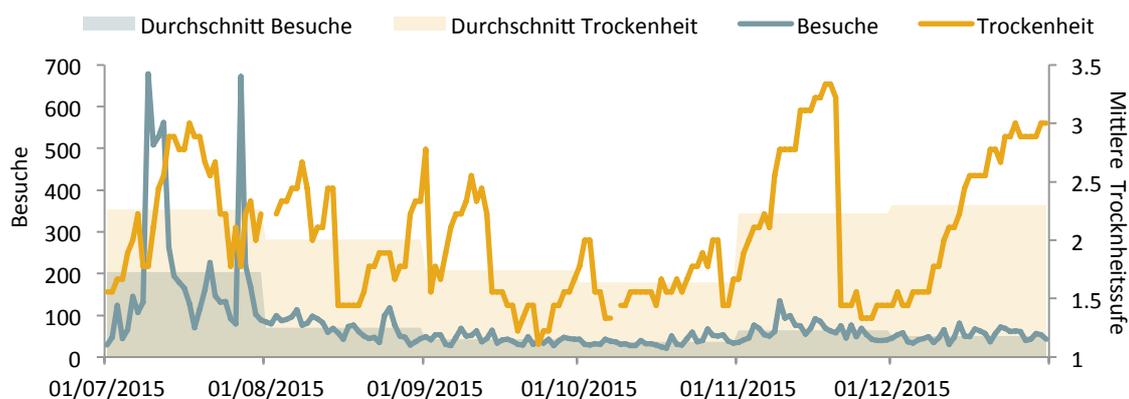


Abbildung 40: Anzahl Besuche (Linie) und Anzahl durchschnittliche Besuche pro Monat (Fläche) im Vergleich mit den auf drought.ch veröffentlichten Trockenheitsstufen über alle Regionen gemittelt (Linie) und pro Monat gemittelt (Fläche).

User aus dem Bereich Landwirtschaft informierten sich während der Hauptvegetationszeit deutlich häufiger auf drought.ch, als sonst. Insbesondere während der Hauptwachstumsphase sind Pflanzen auf eine ausreichende Wasserverfügbarkeit angewiesen (Farooq et al., 2009). Ein Wassermangel während dieser Zeit resultiert für die Betroffenen des Landwirtschaftssektors in Ertrageinbussen (Wilhite, 2000). Auch User aus dem Bereich Forstwirtschaft besuchten die Informationsplattform vorwiegend im Juli und August. Gründe dafür könnten sein, dass während einem heiss-trockenen Sommer die Waldbrandgefahr in der Schweiz beidseits der Alpen deutlich ansteigt (Wohlgemuth et

al., 2008) und dass als Folge von Trockenheit im Wald mit einem verstärkten Befall durch Schadorganismen zu rechnen ist (Rigling & Schaffer, 2015).

Weshalb die Anzahl Logins und Besuche auch bei den anderen Bereichen, mit Ausnahme der Bereiche Medien und Wasserkraft, trotz zunehmender oder anhaltender Trockenheit bis Ende 2015 abnahm, kann nur vermutet werden. Möglicherweise wird Trockenheit eher mit einem heissen Sommer als mit einem milden Winter assoziiert. Tatsächlich waren in der Vergangenheit Sommertrockenheitsereignisse in der Schweiz häufiger als trockene Wintermonate (OcCC, 2000). Zudem vermochten die Niederschläge im September und Oktober eine Verbesserung der Trockenheitssituation vortäuschen. Diese im Vergleich zur Klimatologie unterdurchschnittlichen Niederschlagsmengen (MeteoSchweiz, 2016) reichten jedoch nicht aus, um das vorangehende Niederschlagsdefizit und die damit verbundenen niedrigen Wasserstände der Speicher zu kompensieren. Vertrocknete Felder und häufige Bewässerung infolge landwirtschaftlicher Trockenheit sind offensichtlicher, als erst verzögert auftretende Grundwasserdefizite (Wilhite, 200). Diese Tatsache könnte die Anzahl Besuche der Informationsplattform **drought.ch** zusätzlich mitbestimmt haben.

Um die Verwendbarkeit der publizierten Informationen zu Trockenheit zu verbessern, müssen die Übersichtskarten in grössere räumlicher Auflösung dargestellt werden. Dies geht aus den Rückmeldungen der User hervor, welche, privat und beruflich, räumlich detailliertere Trockenheitsinformationen, verwenden möchten. Die Analyse der Trockenheitsvorhersagen von **drought.ch** zeigt, dass durch die Aggregation der Trockenheitsinformationen von 307 auf neun Regionen insbesondere bei den Abfluss- und Bodenfeuchtedefiziten Inhalte verloren gehen. Was diese Analysen andeuteten gilt auch im Allgemeinen: landwirtschaftliche und hydrologische Trockenheit können, im Vergleich zu meteorologischer Trockenheit, kleinräumig differenziertere Ausprägungen aufweisen (Wilhite, 2000; Van Loon, 2015). Tallaksen et al. (2009) modellierten Trockenheit auf der Einzugsgebietsebene und stellten fest, dass dabei die Wahl der räumlichen Auflösung eine entscheidende Rolle spielt. So wie die Informationen zur aktuellen Lage auf **drought.ch** dargestellt werden, kann der räumlichen Variabilität der Ausprägungen der Trockenheit, welche landwirtschaftliche und hydrologische Trockenheit charakterisieren, nicht gerecht werden. Dennoch lassen sich anhand der Analyse der räumlich-zeitlichen Muster des Auftretens der Trockenheitsstufen je Parameter Rückschlüsse auf Eigenschaften der verschiedenen Regionen ziehen. Insofern liegt das Potential der Informationsplattform darin durch eine grössere Auflösung räumlich differenziertere Informationen zu generieren, welche die Wirkung der Eigenschaften einer Region auf den Verlauf einer Trockenheit detaillierter wiedergeben können. Denn die Kombination der Informationen zu Trockenheit und dem Wissen über regionale Eigenschaften lassen Erkenntnisse über Trockenheitsereignisse zu

Neben der räumlichen und zeitlichen Auflösung, wirkt sich die Definition der Schwellwerte, ob fix oder saisonal variabel, auf die Resultate der Trockenheitsmodellierung und im Falle von `drought.ch` schliesslich auch auf die generierten Übersichtskarten aus (Tallaksen et al., 2009). `drought.ch` ist eine Prototypversion, weshalb immer wieder Verbesserungsoptionen und mögliche Anpassungen getestet werden (können). Bis jetzt fehlt jedoch eine Dokumentation darüber, welche Schwellenwerte bei den Modellierungen für `drought.ch` verwendet werden und anhand welcher Annahmen diese bestimmt wurden (vgl. Zappa et al., 2014; Bernhard & Zappa, 2015). Eine klare Darstellung der Schwellenwerte würde die Interpretation der Übersichtskarten erleichtern und zudem den Vorschlägen und Wünschen der User von `drought.ch` gerechter werden.

Unter welchen Bedingungen bei der allgemeinen Lage Trockenheit angezeigt wird und wie dabei die Stärke der angezeigten Trockenheitsstufe bestimmt wird, wurde bis jetzt ebenfalls nur andeutungsweise beschrieben (vgl. Kap. 2.3; Bernhard & Zappa, 2015). Die Analyse der Übersichtskarten der allgemeinen Lage und der verschiedenen Parameter zeigt, dass die entsprechende Zuteilung der Trockenheitsstufen der Allgemeinen Lage nicht immer nachvollziehbar ist. Das heisst, dass aus der Trockenheitsstufen der trockenheitsrelevanten Parameter nicht automatisch auf die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage geschlossen werden kann. Während der schweizweit herrschenden mittleren bis grossen Trockenheit im Juli zeigten die Informationen der allgemeinen Lage im Vergleich zu den Trockenheitsstufen der verschiedenen Parameter geringere Trockenheitsstufen an. Im November zeigten die Informationen der allgemeinen Lage in allen Regionen höhere Trockenheitsstufen an, als die durchschnittliche Trockenheitsstufe der Parameter. In der Region Jura konnte dies bei allen Trockenheitsinformationen zur allgemeinen Lage der zweiten Jahreshälfte (ausser an zwei Tagen) beobachtet werden. Da die Differenzen der durchschnittlichen Trockenheitsstufe der Parameter und der allgemeinen Lage zwischen -2 und +1.8 variieren, werden keine Rundungsfehler vermutet. Möglich ist, dass bei der Zuordnung der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage die trockenheitsrelevanten Parameter je nach Jahreszeit, aber auch generell ungünstig gewichtet werden.

Weiter zeigte sich, dass die Wechsel der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage im Zusammenhang durch die Variabilität der Abflussdefizite hervorgerufen wird. Häufige Wechsel der Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage passen nicht mit der für Trockenheit typischen Eigenschaften langsamer Entwicklung und Veränderung zusammen. Insofern stellt sich die Frage, ob der Einfluss der Kenngrösse *Abfluss* betreffend Darstellungen der allgemeinen Lage angepasst werden sollte.

Mit den 5-Tages-Prognosen wurden während der zweiten Jahreshälfte 2015 durchschnittlich lediglich 55 bis 60% der beobachteten Abfluss- und Bodenfeuchtedefizite vorhergesagt. Zudem war der Anteil fälschlicherweise vorhergesagter Wasserdefizite mit durchschnittlich 34% hoch. Niederschlagsprognosen wurden während der zweiten Jahreshälfte

keine gemacht, womit der Anteil der Verfehlten Defizite bei 27% liegt. Damit kann für die 5-Tages-Trockenheitsprognosen in den Untersuchten Gebieten keine zufriedenstellende Plausibilität festgestellt werden. Ein ähnliches Bild zeigt sich bei der Analyse der Monatsvorhersagen. Die Auswertungen der Monatsvorhersagen zeigen die Tendenz, dass Defizite entweder deutlich zu selten (Niederschlag) oder zu oft und zu intensiv (Abfluss und Bodenfeuchte) prognostiziert werden. Nur bei den Abflussprognosen konnte mit zunehmender Vorlaufzeit eine leichte Abnahme der Modellgüte erkannt werden.

Die Regionen, für welche die Monatsvorhersagen ausgewertet werden konnten, erlebten im zweiten Halbjahr 2015 weniger aussergewöhnliche Trockenheitsereignisse, als die übrigen Regionen. Zudem zeigt die Auswertung des GMRAE, dass in diesen vier Regionen und insbesondere im Wallis, die Prognosen mit der Klimatologie geringere Fehler aufweisen, als die Prognosen mit den Wettervorhersagen. Aus diesem Grund kann mit den Auswertungen der Monatsvorhersagen nicht auf die mögliche Güte der Prognosen der übrigen Regionen geschlossen werden.

Für die Monatsvorhersagen konnte lediglich die Trefferrate berechnet werden. Wie bei den 5-Tages-Vorhersagen ist auch bei den Monatsvorhersagen der Anteil negativer Treffer sehr hoch, was in einer hohen Trefferrate resultiert, welche die Güte der Prognosen überschätzt (vgl. Nurmi, 2003). Daher werden keine weiteren Interpretationen zur Modellgüte formuliert.

Limitationen

Limitationen zeigten sich insbesondere bei der Analyse und Auswertung der Trockenheitsvorhersagen. Zum einen aufgrund der fehlenden Messdaten und zum anderen auch wegen der zeitlich limitiert vorhanden Vergleichsdaten, den Informationen zur allgemeinen Lage. Die Auswertung von lediglich 16 Monatsvorhersagen lässt einen möglichen Trend erkennen, schliessende Aussagen über die Modellgüte sind jedoch nicht möglich. Weiter konnten die 5-Tages- als auch die Monatsvorhersagen aufgrund der unterschiedlichen räumlichen Auflösungen der Vorhersagen und «Beobachtungen nur für die Regionen Wallis, Tessin, Nord- und Mittelbünden ausgewertet werden. Bei der Beschreibung und Analyse der Trockenheitsereignisse des zweiten Halbjahr 2015 fehlten die Informationen zu Grundwasserdefiziten, welche unter Umständen auf weitere hydrologische Prozesse im Zusammenhang mit Trockenheit hingedeutet hätten. Die Internetrecherche der Medienbeiträge zum Thema Hitze und Trockenheit wurde durch den begrenzten Zugang zu den Medienbeiträgen eingeschränkt.

6 Schlussfolgerung

Seit der Freischaltung der Informationsplattform **drought.ch** im Jahr 2013, wurden in der Schweiz noch nie so viele anhaltende Trockenperioden registriert, wie während der zweiten Jahreshälfte 2015. **drought.ch** als Prototyp einer Informationsplattform zu Trockenheit, wurde auf die Probe gestellt und erwies sich dabei zuverlässiges Beobachtungsinstrument von Trockenheit. Die für **drought.ch** aufbereiteten Trockenheitsinformationen bieten eine solide Grundlage für Ereignisanalysen und ermöglichen zudem auch die Analyse der im Zusammenhang mit Trockenheit auftretenden Prozessketten, was im Rahmen dieser Arbeit ausführlich dargelegt wurde. Weiter lassen sich anhand der Informationen zu den verschiedenen Kenngrößen regional differenzierte Prozessketten erkennen. Um auch die Folgen einer Trockenheit erfassen zu können und damit eine Ereignisanalyse zu ergänzen, erweisen sich Medienbeiträge als nützliche Quellen.

Wie viele Interessenten sich auf **drought.ch** informieren hängt vor allem davon ab, in welcher Jahreszeit eine Trockenheit auftritt und weniger davon wie intensiv die Trockenheit ist. Über Trockenheit informieren sich vor allem Personen von Behörden, aber auch Personen aus den Bereichen Privatperson, Forschung und Landwirtschaft. Damit Trockenheitsinformationen den User einen Mehrwert bringen können, müssen die Informationen entsprechend aufbereitet und dargestellt werden. Eine erwünschte Anpassungen bei der Darstellung der Trockenheitsinformationen ist in erster Linie eine höhere, zum Beispiel derjenigen der Prognosekarten entsprechende, Auflösung der Übersichtskarten mit den Informationen zur aktuellen Situation. Damit ein breiteres Publikum angesprochen werden kann, soll die Informationsplattform in mehreren Sprachen, vorzugsweise Französisch, Italienisch und Englisch, abrufbar sein.

Weiter soll die Informationsplattform mit den Informationen zu den bei der Trockenheitsmodellierung relevanten Schwellenwerten ergänzt werden. Damit werden die Betreiber von **drought.ch** aufgefordert die Wahl der kritischen Grenzwerte, ab welcher ein Wasserdefizit angezeigt wird, zu überprüfen und nachvollziehbar und auf Begründungen basierend festzuhalten. Inwiefern sich die Trockenheitsstufe der allgemeinen Lage aus den trockenheitsrelevanten Parametern zusammensetzt, sollte dabei ebenfalls überprüft, regional angepasst und festgehalten werden.

Sind die Trockenheits-Monatsprognosen plausibel genug, um die Vorhersagen auf **drought.ch** zu veröffentlichen? Die im Rahmen dieser Arbeit ausgeführte Analyse der Monatsprognosen lässt die Beantwortung dieser Frage nicht zu. Die Tendenz deutet auf eine wenig zufriedenstellende Güte der Monatsvorhersagen. Um eine Antwort auf die obige Frage zu erarbeiten, müssen die Prognosen über einen längeren Zeitraum und insbesondere für die ganze Schweiz ausgewertet werden. Eine Anpassung der Schwellenwer-

te auf ein höheres Niveau, könnte insbesondere bei den Abflussprognosen die Überschätzung der Abflussdefizite mildern. Wie die Monatsprognosen, zeigten auch die Mittelfristigen Trockenheitsvorhersagen eine nur bedingt zufriedenstellende Güte. Für eine gesamtliche Beurteilung müssen jedoch auch diese Prognosen zunächst für alle Regionen ausgewertet werden. Was bezüglich **drought.ch** mit Sicherheit gesagt werden kann: die Modellierung von Mittel- und Langfristigen Trockenheitsprognosen sowie deren Auswertung stellt weiterhin eine Herausforderung dar.

Um den gesellschaftlichen Beitrag der Informationsplattform zu steigern, soll in den nächsten Schritten, neben der Umsetzung der aufgeführten Verbesserungsvorschläge, der Fokus auf die Weiterentwicklung der Trockenheitsprognosen gelegt werden.

7 Literatur

- Addor N., Jaun S., Fundel F. & Zappa M. (2011): An operational hydrological ensemble prediction system for the city of Zurich (Switzerland): skill, case studies and scenarios. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 2327–2347.
- Bachmair S., Kohn I. & Stahl K. (2015a): exploring the link between drought indicators and impacts. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 15: 1381–1397.
- Bachmair S., Svensson C., Hannaford J., Barker L.J. & Stahl K. (2015b): A quantitative analysis to objectively appraise drought indicators and model drought impacts. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*: 9437-9488.
- Barker L.J., Hannaford J., Chiveron A. & Svensson C. (2016): From meteorological to hydrological drought using standardised indicators. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20: 2483-2505.
- Beniston M. (2004): The 2003 heat wave in Europe: A shape of things to come? An analysis based on Swiss climatological data and model simulations. *Geophysical Research Letters*, 31, L02202: 4 S. doi:10.1029/2003GL018857
- Bernhard L. & Zappa M. (2015): Schlussbericht Trockenheitsplattform www.drought.ch. Birmsdorf. 30 S.
- Beven K. (2012): *Rainfall-Runoff Modelling: The Primer*, Second Edition. Wiley-Blackwell, Oxford, doi 10.1002/9781119951001.
- Beven K. & Young P. (2013): A guide to good practice in modeling semantics for authors and referees. *Water Resour. Res.*, 49, doi:10.1002/wrcr.20393: 1-7.
- Bogner K. (2015): Verifizierung der Vorhersagen für die Trockenperiode (Juli, August 2015). Präsentation und mündliche Mitteilung. Nicht publiziert.
- Bowman D.M.J.S., Balch J., Artaxo P., Bond W.J., Cochrane M.A., D'Antonio C.M., DeFries R., Johnston F.H., Keeley J.E., Krawuchuk M.A., Kull C.A., Mack M., Moritz M.A., Pyne S., Roos C.I., Scott A.C., Sodhi N.S. & Swetnam T.W. (2011): The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography*, 38: 2223-2236.
- Drought-CH (2016): www.drought.ch, Zugriff: 28.09.2016.
- Eastaugh C. S., Arpacı A. & Vacik H. (2012): A cautionary note regarding comparisons of fire danger indices. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.* 12: 927–934.
- Farooq M., Wahid A., Kobayashi N., Fujita D & Basara S.M.A. (2009): Plant Drought Stress: Effects, Mechanisms and Management. In: Lichtfouse E. et al. (eds.), *Sustainable Agriculture*. Springer Science + Business Media B.V. – EDP Science: 153 – 188.
- Fischer E.M., Seneviratne S.I., Lüthi D. & Schär C. (2007): Contribution of land-atmosphere coupling to recent European summer heat waves. *Geophysical Research Letters*, 34, L06707, doi:10.1029/2006GL029068.
- Fleig A.K., Tallaksen L.M., Hisdal H. & Demuth S. (2006): A global evaluation of streamflow drought characteristics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10: 535-552.
- Fuhrer J. (2010): Abschätzung des Bewässerungsbedarfs in der Schweizer Landwirtschaft. Abschlussbericht. Eidgenössisches Volkswirtschaftsdepartement EVD, Forschungsanstalt Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, Forschungsgruppe Lufthygiene/Klima.

- Fundel F., Jörg-Hess S. & Zappa M. (2013): Monthly hydrometeorological ensemble prediction of streamflow droughts and corresponding drought indices. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17: 395–407.
- Gudmundsson L., Rego F.C., Rocha M. & Seneviratne S.I. (2014): Predicting above normal wildfire activity in southern Europe as a function of meteorological drought. *Environmental Research Letters*, 9: 1-8. doi:10.1088/1748-9326/9/8/084008.
- Heim R.R. Jr. (2015): An overview of weather and climate extremes – Products and trends. *Weather and Climate Extremes* 10: 1-9.
- Hisdal H., Stahl K., Tallaksen L.M. & Demuth S. (2001): Have streamflow droughts in Europe become more severe or frequent? *Int. J. Climatol.*, 21: 317-333.
- Hisdal H., Tallaksen L.M., Clausen B., Peters E. & Gustard A. (2004): Hydrological Drought Characteristics. In: Tallaksen L.M. & Van Lanen H.A.J. (Hrsg.): *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for streamflow and groundwater. Development in Water Science*, 48. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V Amsterdam: 139 -198.
- Hyndman R.J., Koehler A.B. (2006): Another look at measures of forecast accuracy. *International Journal of Forecasting*, 22: 679-688.
- Jörg-Hess S., Kempf S.B., Fundel F. & Zappa M. (2015): The benefit of climatological and calibrated reforecast data for simulating hydrological droughts in Switzerland. *Meteorol. Appl.*, 22: 444-458.
- Kassas M. (1987): Drought and desertification. *Land Use Policy*, 4, 4: 389-400.
- Kelemen M. (2012): Verifikation von Punktprognosen für den Grossraum Wien. Diplomarbeit. Universität Wien.
- Kingston D.G., Fleig A.K., Tallaksen L.M. & Hannah D.M. (2013): Ocean-Atmosphere Forcing of Summer Streamflow Drought in Great Britain. *American Meteorological Society*, 14: 331-344. DOI: 10.1175/JHM-D-11-0100.1
- Kingston D.G., Stagge J. H., Tallaksen L.M. & Hannah D.M. (2015): European-Scale Drought: Understanding Connections between Atmospheric Circulation and Meteorological Drought Indices. *Journal of Climate*, 28: 505–516.
- Kunz M. (2007): The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci., Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union*, 7 (2): 327-342. <hal-00299428>
- Lackstrom K., Brennan A., Ferguson D., Crimmins M., Darby L., Dow K., Ingram K., Meadow A., Reges H., Shafer M. & Smith K. (2013): The Missing Piece: Drought Impacts Monitoring. Workshop report produced by the Carolinas Integrated Science & Assessments program and the Climate Assessment for the Southwest. Tuscon, AZ. 1-23.
- Lloyd-Hughes B. & Saunders M.A. (2002): A Drought Climatology for Europe. *Int. J. Climatol.* 22: 1571-1592.
- Lloyd-Hughes B. (2014): The impracticality of a universal drought definition. *Theor. Appl. Climatol.* 117: 607-611.
- Ma M., Ren L., Yuan F., Jiang S., Liu Y., Kong H. & Gong L. (2014): A new standardized Palmer drought index for hydro-meteorological use. *Hydrol. Process.*, 28: 5645-5661.

- McKee, T. B., Doesken, N. J. & Kleist, J. (1993) The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology. Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc.: 179–184.
- MeteoSchweiz (2015): Klimabulletin Sommer 2015. Zürich.
- MeteoSchweiz (2016): <http://www.meteoschweiz.admin.ch/home/aktuell/meteoschweiz-blog.subpage.html/de/data/blogs/2016/1/globale-temperatur-2015-bricht-alle-rekorde.html>, Zugriff 25.01.2016, 14:39.
- Mishra A.K. & Singh V.P. (2010): A review of drought concepts. *Journal of Hydrology*, 391: 202–216.
- Mishra A.K. & Singh V.P. (2011): Drought modeling – A review. *Journal of Hydrology*, 403: 157–175
- Müller B. & Seneviratne S.I. (2012): Hot days induced by precipitation deficits at the global scale. *PNAS*, 109, 31: 12398–12403.
- Nalbantis I. & Tsakiris G. (2009): Assessment of Hydrological Drought Revisited. *Water Resour Manage*, 23: 881–897.
- Nurmi P. (2003): Recommendations on the verification of local weather forecasts. European Centre for Medium Range Weather Forecasts. Technical memorandum 430: 1–19.
- OcCC (Organe consultative sur les changements climatiques) (2000): Trockenheit in der Schweiz. Workshopbericht. http://www.occc.ch/reports_d.html
- Palmer W.C. (1965): Meteorological drought. Research Paper no. 45, U.S. Department of Commerce, Weather Bureau, Washington DC. 59 Seiten.
- Peters E., Torfs P.J.J.F., van Lanen H.A.J. & Bier G. (2003): propagation of drought through groundwater – a new approach using linear reservoir theory. *Hydrol. Process.* 17: 3023–3040.
- ProClim (Forum for Climate and Global Change, Platform of the Swiss Academy of Sciences; Hrsg.) (2005): Hitzesommer 2003. Synthesebericht. Bern.
- Rigling A. & Schaffer H.P. (Hrsg.) (2015): Waldbericht 2015. Zustand und Nutzung des Schweizer Waldes. Bundesamt für Umwelt, Bern, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- Robock A., Vinnikov K.Y., Srinivasan G., Entin J.K., Hollinger S.E., Speranskaya N.A., Liu S. & Namkhai A. (2000): The Global Soil Moisture Data Bank. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1281–1299.
- Rosbjerg D. & Madsen H. (2005): Concepts of Hydrologic Modeling. Chapter 10 in: *Encyclopedia of Hydrological Sciences* (Andersin M.G., ed.), John Wiley & Sons, Ltd, Chichester: 1–9.
- Sawada Y., Toshio K. & Jaranilla-Sanchez A. (2014): Modeling hydrologic and ecologic responses using a new eco-hydrological model for identification of droughts. *Water Resources Research*, 50: 6214–6235. doi:10.1002/2013WR014847.
- Schär C., Vidale P. L., Lüthi D., Frei C., Häberli C., Liniger M. A. & Appenzeller C. (2004): The role of increasing temperature variability in European summer heatwaves. *Nature*, 427: 332–336.
- Schär C. & Fischer E.M. (2008): Der Einfluss des Klimawandels auf Hitzewellen und das Sommerklima Europas. S. 50–55. In: Lozán J.L., Graßl H., Jendritzky G., Karbe L. and Reise K. (Hrsg.): Warnsignal Klima: Gesundheitsrisiken. Gefahren für Menschen, Tiere und Pflanzen, Hamburg : Wiss. Auswertungen. 383 Seiten.

- Scherrer S. C. & Appenzeller C. (2013): Fog and low stratus over the Swiss Plateau – a climatological study. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.3714.
- Schweizer Armee (2015): <http://www.vtg.admin.ch> (Zugriff: 20.07.2016, 17:25)
- Seibert, J. (2005): HBV light version 2. User's manual. Department of Physical Geography and Quaternary Geology, Stockholm University, <http://people.su.se/~jseib/HBV/>.
- Seibert J. & Vis M.J.P. (2012): Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 3315-3325.
- Şen Z. (2015): Applied drought modeling, prediction, and mitigation. Elsevier, Amsterdam. 484 Seiten.
- Seneviratne S.I., Nicholls N., Easterling D., Goodess C.M., Kanae S., Kossin J., Luo Y., Marengo J., McInnes K., Rahimi M., Reichstein M., Sorteberg A., Vera C & Zhang X. (2012): Changes in climate extremes and their impacts on the natural physical environment. In: *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation* [Field C.B., Barros V., Stocker T.F., Qin D., Dokken D.J., Ebi K.L., Mastrandrea M.D., Mach K.J., Plattner G.-K., Allen S.K., Tignor M. and Midgley P.M. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA. 109-230.
- Seneviratne S.I., Orth R., Jörg-Hess S., Kruse S., Seidl I., Stähli M., Zappa M., Seibert J. Staudinger M., Stahl K. & Weiler M. (2013): Trockenheit in der Schweiz. Ergebnisse des NFP-61-Projekts drought.ch. *Aqua & Gas*, 9: 38–47.
- Shcherbakov M.V., Brebels A., Shcherbakova N.L, Tyukov A.P., Janovsky T.A, Kamaev V.A. (2013): A Survey of Forecast Error Measures. *World Applied Sciences Journal*, 24 (Information Technologies in Modern Industry, Education & Society). 171-176.
- Smakhtin V.U. (2001): Low flow hydrology: a review. *Journal of Hydrology* 240: 147-186.
- Smakhtin V.U. & Hughes D.A. (2007): Automated estimation and analyses of meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling & Software*, 22: 880-980.
- Sodoudi S. (2004): Verifikation der EZMW Niederschlagsprognosen für den Iran. Dissertation. Freie Universität Berlin. 60-79.
- Solomatine D.P. & Wegener T. (2011): Hydrological Modeling. Chapter 2.16 in: *Treatise on Water Science* (Wilderer, ed.), Volume 2: The Science of Hydrology, Elsevier: 435-457.
- Spinoni J., Naumann G., Vogt J., Barbosa P. (2016). Meteorological Droughts in Europe: Events and Impacts – Past Trends and Future Projections. Publications Office of the European Union, Luxembourg.
- Spreafico M. & Weingartner R.(Hrsg.) (2005): Hydrologie der Schweiz - Ausgewählte Aspekte und Resultate. *Berichte des BWG, Serie Wasser*, 7: 1-13.
- SRF (2015): <http://www.srf.ch/meteo/meteo-news/trockenheit-im-mittelland>, Zugriff 22.01.2016, 08:57.
- Stähli M., Kruse S., Fundel F., Zappa M., Stahl K., Bernhard L. & Seidl I. (2013): DROUGHT.CH – auf dem Weg zu einer Trockenheits-Informationsplattform für die Schweiz. *Wasser Energie Luft* 105, 2: 127–131.
- Stahl K., Kohn I., Blauhut V., Urquijo J., De Stefano L., Acácio V., Dias S., stagge J.H., Tallaksen L.M., Kampragou E., Van Loon A.F., Barker L.J., Melsen L.A., Bifulco C., Musolino D.,

- De Carli A., Massarutto A., Assimacopoulos D. & Van Lanen H.A.J. (2016): Impacts of European drought events: insights from an international database of text-based reports. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 16: 801-819.
- Staudinger M., Stahl K., Seibert J., Clark M.P. & Tallaksen L.M. (2011): Comparison of hydrological model structures based on recession and low flow simulations. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15(11): 3447–3459.
- Staudinger M., Stahl K. & Seibert J. (2014): A drought index accounting for snow. *Water Resources Research*, 50, 7861–7872.
- Tallaksen L.M. & Van Lanen H.A.J. (2004): *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater. Development in Water Science*, 48. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.
- Tallaksen L.M., Hisdal H. & Van Lanen H.A.J. (2009): Space-time modelling of catchment scale drought characteristics. *Journal of Hydrology*, 375: 363–372.
- Tallaksen L.M., Stagge J.H., Stahl K., Gudmundsson L, Orth R., Seneviratne S.I., Van Loon A.F., Van Lanen H.A.J. (2015): Characteristics and drivers of drought in Europe – a summary of the DROUGHT-R&SPI project. In: Andreu et al. (Eds.) (2015): *Drought: Research and Science Policy Interfacing*. Taylor & Francis Group, London. 15-21.
- Van Lanen H.A.J., Fendeková M., Kupczyk E., Kasprzyk A. & Pokojnsky W. (2004): Flow Generating Processes. In: *Development in Water Science*, 48. Amsterdam, The Netherlands: Elsevier Science B.V.: 53-96.
- Van Lanen H.A.J. (2006): Drought propagation through the hydrological cycle. *Climate Variability and Change – Hydrological Impacts (Proceedings of the Fifth FRIEND World Conference held in Havana, Cuba, November 2006)*, IHAS Publ. 308: 122-127.
- Van Lanen H.A.J., Laaha G., Kingston D.G., Gauster T., Ionita M., Vidal JP., Vlnas R., Tallaksen L.M., Stahl K., Hannaford J., Delus C., Fendekova M., Mediero L. Prudhomme Ch., Rets E., Romanowicz R.J., Sébastien G., Wong W.K., Adler M.J., Blauhut V., Caillouet L., Chelcea S., Frolov, N., Gudmundsson L., Hanel M., Haslinger K., Kireeva M., Souch M., Sauquet E., Stagge J.H. & Van Loon A.F. (2016): Hydrology needed to manage droughts: the 2015 European case. *Hydrol. Process.* [ohne Seitenzahlen].
- Van Loon A.F., Van Lanen H.A.J., Hisdal H., Tallaksen L.M., Fendeková M., Oosterwijk J., Horvát O. & Machlica A. (2010): Understanding hydrological winter drought in Europe. *IAHS Publ.* 340: 189-197.
- Van Loon A.F. & Van Lanen H.A.J. (2012): A process-based typology of hydrological drought. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 1915-1946.
- Van Loon A.F., Van Huijgevoort M.H.J. & Van Lanen H.A.J. (2012): Evaluation of drought propagation in an ensemble mean of large-scale hydrological models. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16: 4057-4078. doi:10.5194/hess-16-4057-2012
- Van Loon A. F. (2015): Hydrological drought explained. *WIREs Water*, 2: 359–392.
- Van Loon A.F. & Laaha G. (2015): Hydrological drought severity explained by climate and catchment characteristics. *Journal of Hydrology* 526: 3-14.
- Van Loon A.F., Stahl K., Di Baldassarre G., Clark J., Rangecroft S., Wanders N., Gleeson T., Van Dijk A.I.J.M., Tallaksen L.M., Hannaford J., Uijlenhoet R., Teuling A.J., Hannah D.M., Sheffield J., Svoboda M., Verbeiren B., Wagener T., Van Lanen A.J. (2016): Drought in a

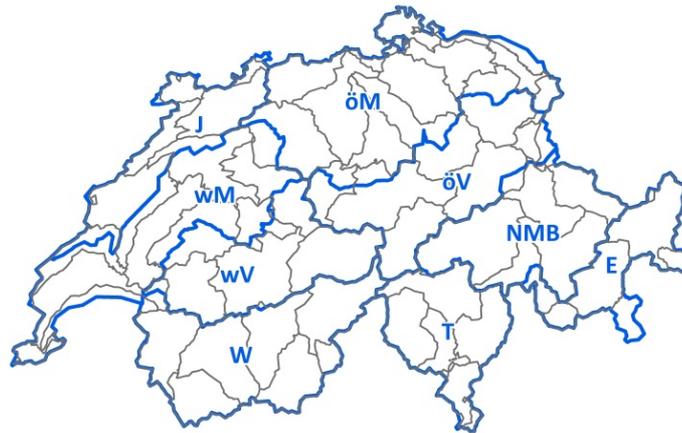
- human-modified world: reframing drought definitions, understanding, and analysis approaches. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 20. 3631-3650.
- Vicente-Serrano S. M., Beguería S. & López-Moreno, J. I. (2010): A Multiscalar Drought Index Sensitive to Global Warming: The Standardized Precipitation Evapotranspiration Index. *Journal of Climate* 23: 1696–1718.
- Viviroli D., Zappa M., Gurtz J. & Weingartner R. (2009): An introduction to the hydrological modelling system PREVAH and its pre- and post-processing-tools. *Environmental Modelling & Software*, 24: 1209-1222.
- Vogt J.V., Safriel U., Von Maltitz G., Sokona Y., Zougmore R., Bastin G., Hill J. (2011): Monitoring and Assessment of Land Degradation and Desertification: Towards new conceptual and integrated Approaches. *Land Degrad. Develop.*, 22: 150-165.
- Wada Y., Van Beek L.P.H, Wanders N. & Bierkens M.F.P. (2013): Human water consumption intensifies hydrological drought worldwide. *Environ. Res. Lett.*, 8. (1-14). doi:10.1088/1748-9326/8/3/034036.
- Weibel P., Elkin C., Reineking B., Condera M. & Bugmann H. (2010): Waldbrandmodellierung – Möglichkeiten und Grenzen. *Schweiz Z Forstwes*, 161, 11: 433-441.
- Wilhite D.A. & Glantz M.H. (1985): Understanding the Drought Phenomenon: The Role of Definitions. *Water International* 10. 111-120.
- Wilhite D.A. (2000): Chapter 1 Drought as Natural Hazard: Concepts and Definitions. *Drought Mitigation Center Faculty Publications*, 69: In: Wilhite D.A. (Hrsg): *Drought: A Global Assessment*, London: Routledge. 3–18.
- Woli P., Jones J.W., Ingram K.T. & Fraisse C.W. (2012): Agricultural Reference Index for Drought (ARID). *Agronomy Journal*, 104, 2: 287-300.
- Woli P., Jones J.W., Ingram K.T. & Hoogenboom G. (2014): Predicting Crop Yields with the Agricultural Index for Drought. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 200, doi:10.1111/jac.12055: 163-171.
- Wohlgemuth, T., Condera, M., Kupferschmid Albisetti, A., Moser, B., Usbeck, T., Bang, P. und Dobbertin, M. (2008): Effekte des Klimawandels auf Windwurf, Waldbrand und Walddynamik im Schweizer Wald. *Schweiz Z Forstwes*, 159, 10: 336-343.
- Yevjevich V. (1967): An objective approach to definitions and investigations of continental hydrologic droughts. *Hydrology papers* 23, Colorado State University, Colorado. Pp. 18.
- Zappa M. & Vogt. S. (2007): Hochwasser-Vorhersagesysteme der neusten Generation im Praxis-Test. *Forum für Wissen*. 25-31.
- Zappa M., Rotach M.R., Arpagaus M., Dorninger M., Hegg C., Montani A., Ranzi R., Ament F., Germann U., Grossi G., Jaun S., Rossa A., Vogt S., Walser A., Werhan J. & Wunram C. (2008): MAP D-PHASE: real-time demonstration of hydrological ensemble prediction systems. *Atmos. Sci. Lett.*, 9: 80-87.
- Zappa M., Bernhard L., Fundel F. & Jörg-Hess S (2012): Vorhersage und Szenarien von Schnee- und Wasserressourcen im Alpenraum. In: Eidgenössische Forschungsanstalt WSL (Hrsg.): *Alpine Schnee- und Wasserressourcen gestern, heute, morgen*. *Forum für Wissen* 2012. 19-27.
- Zappa M., Bernhard L., Spirig Ch., Pfaundler M., Stahl K., Kruse S., Seidl I. & Stähli M. (2014): A prototype platform for water resource monitoring and early recognition of critical

droughts in Switzerland. *Evolving Water Resources Systems: Understanding, Predicting and Managing Water-Society Interactions Proceedings of ICWRS2014*: 492-498.

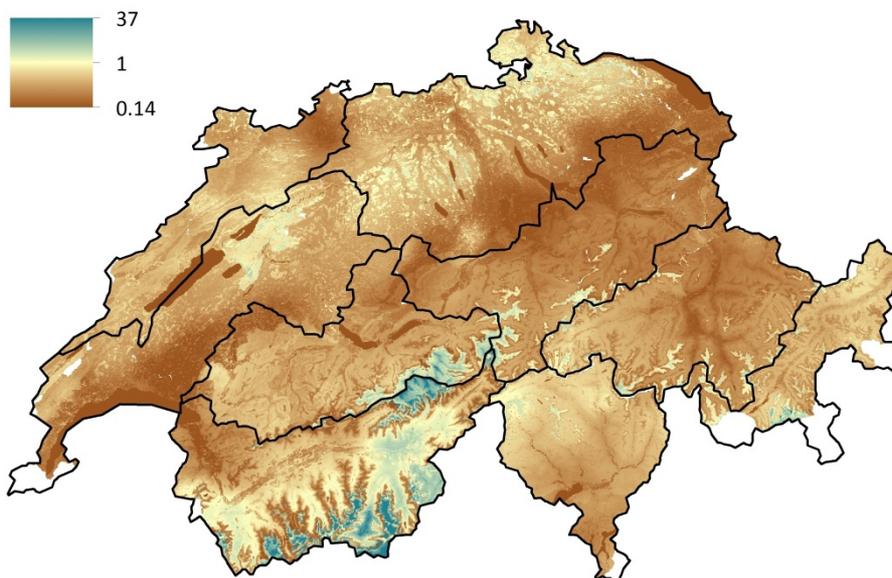
Zargar A., Sadiq R., Naser B. & Khan F.I. (2011): A review of drought indices. *Environ. Rev.* 19: 333-349.

8 Anhang

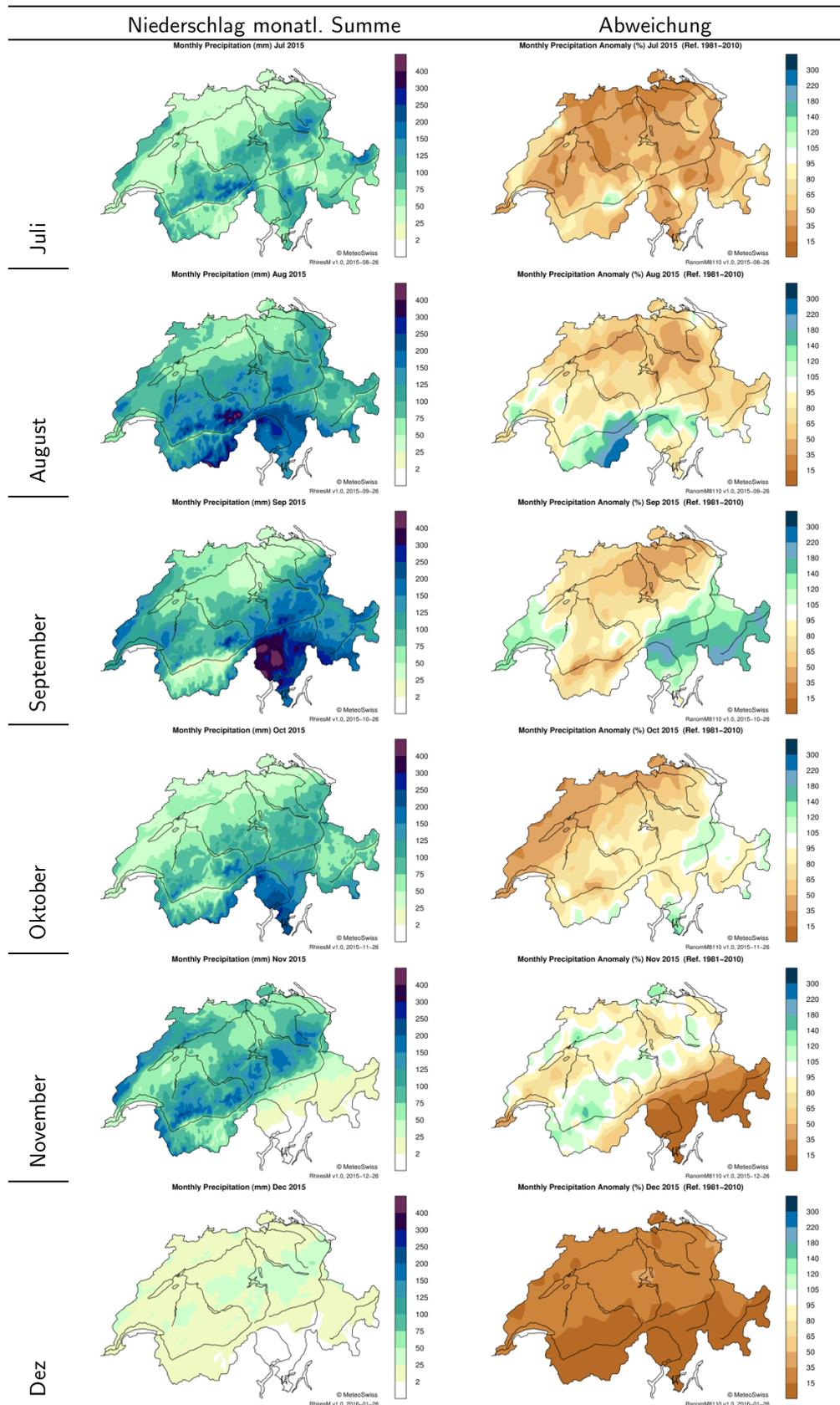
Anhang 1: Regionen, wie sie bei drought.ch verwendet werden. Blau: Die neun Regionen der Darstellungen der Informationen zur aktuellen Situation. Grau: Die 57 Regionen, für welche die Trockenheitsvorhersagen publiziert werden.



Anhang 2: Durchschnittliche Abflussmesswerte der Monate Juli und August 2015 relativ zur Klimatologie. Braun: Abflussdefizite (Verhältnis <1). Blau: überdurchschnittliche Abflussmengen (Verhältnis >1) (Daten: drought.ch)

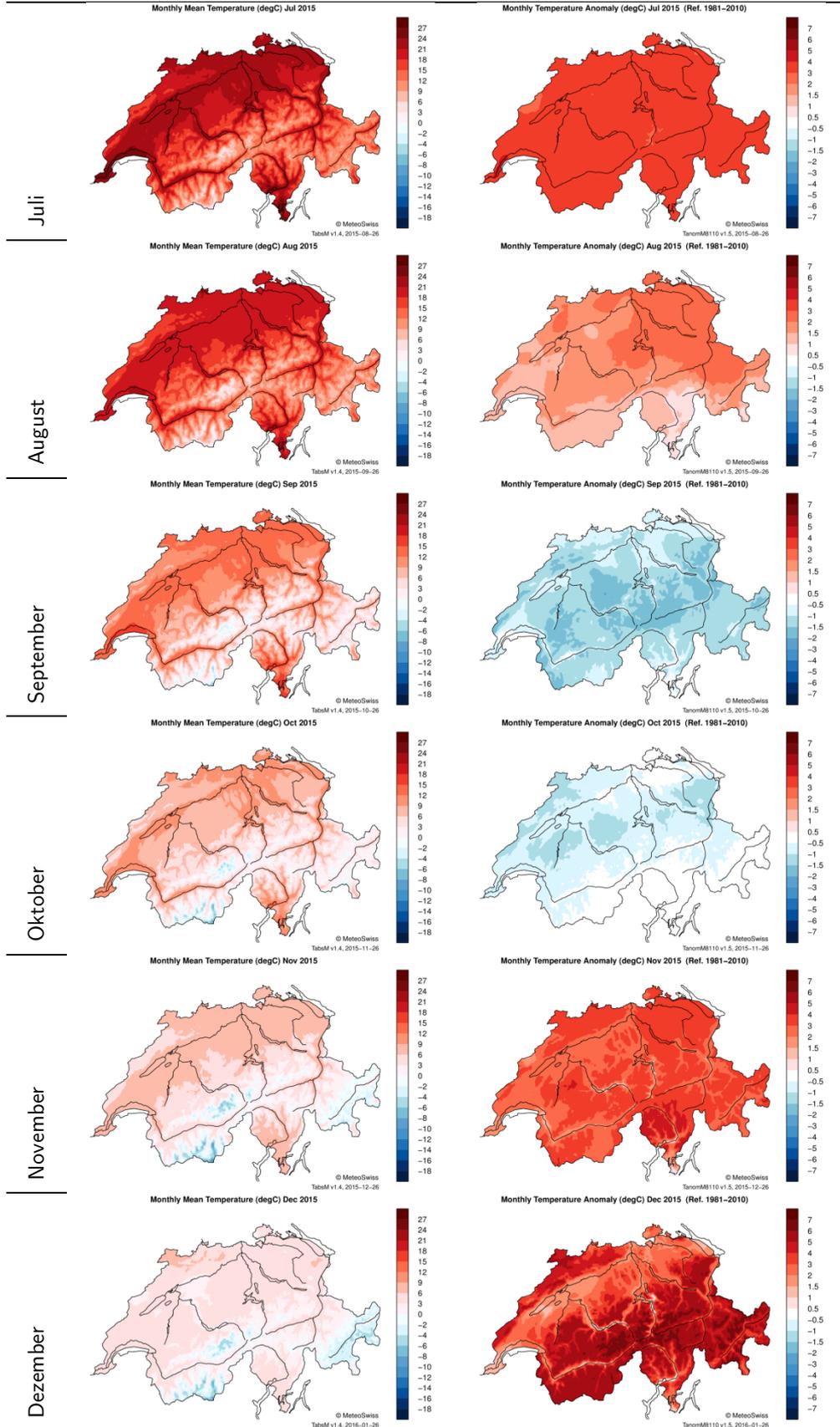


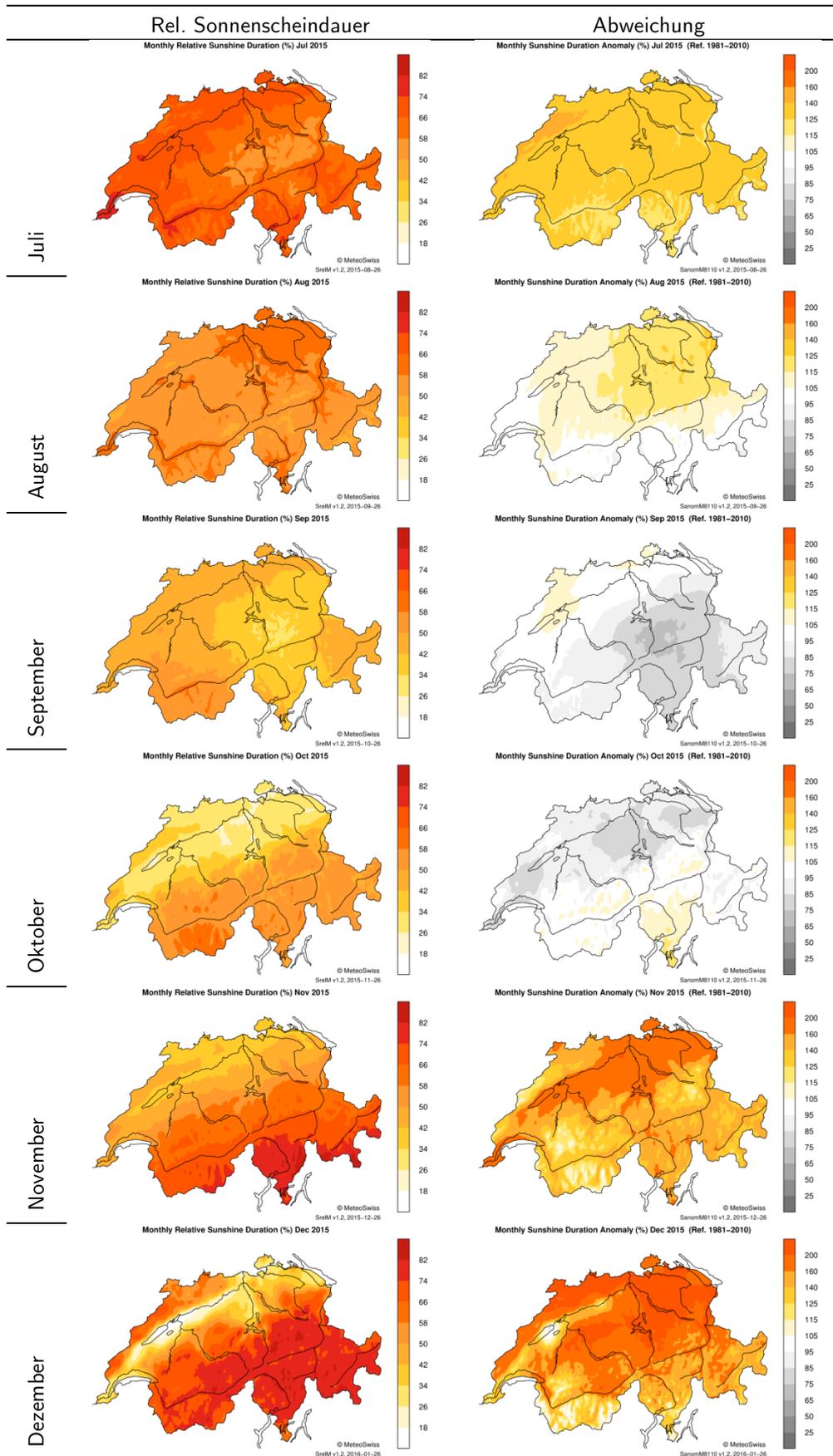
Anhang 3: Links: Übersichtskarten der mittleren Monatlichen Niederschlagssumme, Temperatur und Sonnenscheindauer. Rechts: Übersichtskarten der mittleren monatlichen Abweichung der Messungen gegenüber der Klimatologie (1981 – 2010). (Quelle: MeteoSchweiz)



Temperatur Monatl. Mittel

Abweichung

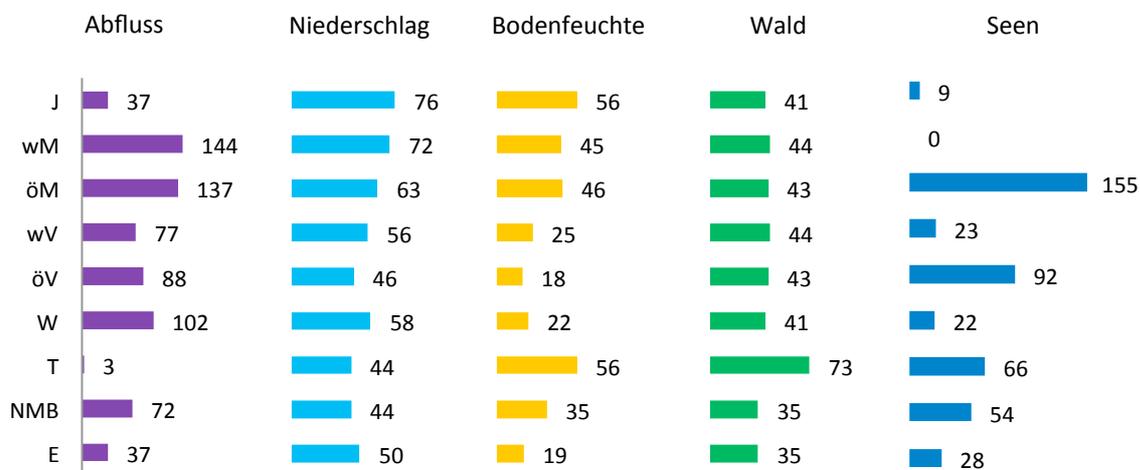




Anhang 4: Durchschnittliche Trockenheitsstufe pro Monat und Region, sowie über die ganze Schweiz (CH) und für die 2. Jahreshälfte 2015 (2. JH) gemittelt. Dabei gilt: < 0.75 keine Trockenheit, 0.75 bis 1.49 = leichte Trockenheit, 1.5 bis 2.249 = mittlere Trockenheit, 2.25 bis 3 = grosse Trockenheit.

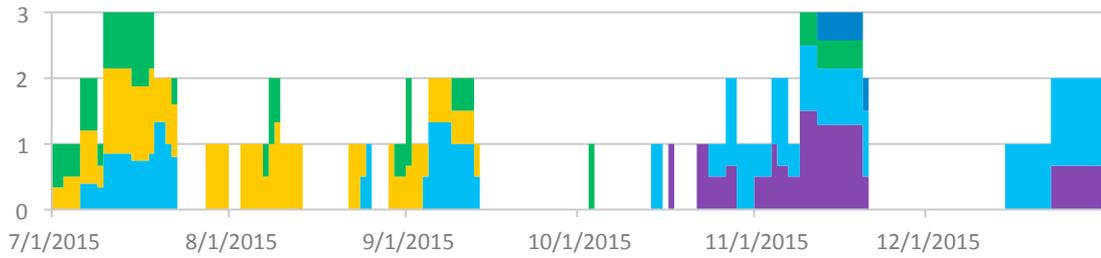
Region	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	2. JH
J	1.71	0.74	0.73	0.52	1.53	0.84	1.01
wM	1.29	0.97	0.93	0.90	1.33	1.10	1.09
öM	1.06	1.45	1.97	2.23	2.40	2.16	1.88
wV	1.19	0.61	0.43	0.42	1.10	0.84	0.77
öV	1.97	1.71	0.90	0.03	1.30	1.03	1.16
W	1.23	0.87	0.67	0.52	0.93	1.06	0.88
T	0.74	0.45	0.20	0.10	1.07	1.68	0.71
NMB	1.26	1.71	0.73	0.00	0.70	1.39	0.96
E	0.90	0.58	0.13	0.97	0.93	1.61	0.86
CH	1.26	1.01	0.74	0.63	1.26	1.30	1.03

Anhang 5: Anzahl Tage mit Wasserdefizit je Parameter und Region

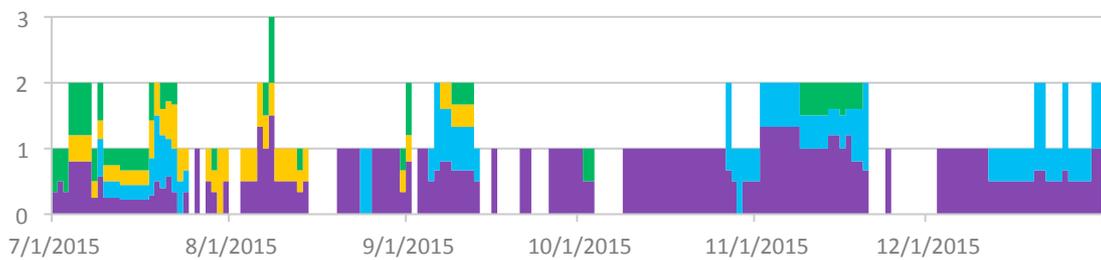


Anhang 6: Trockenheitsstufen der allgemeinen Lage mit dem Anteil der trockenheitsrelevanten Parameter. (1. und 2.8.2015 keine Daten)

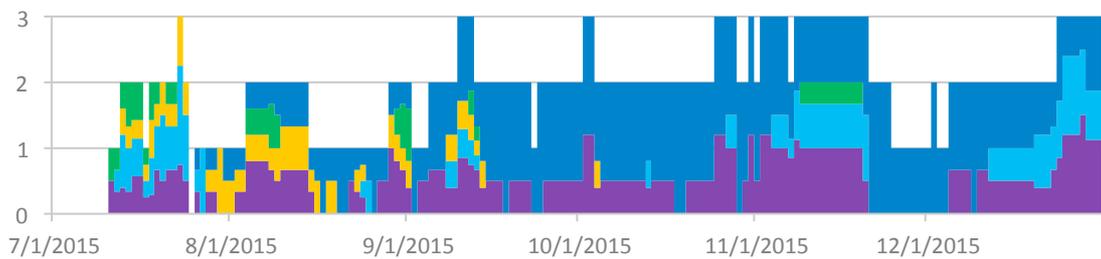
Jura



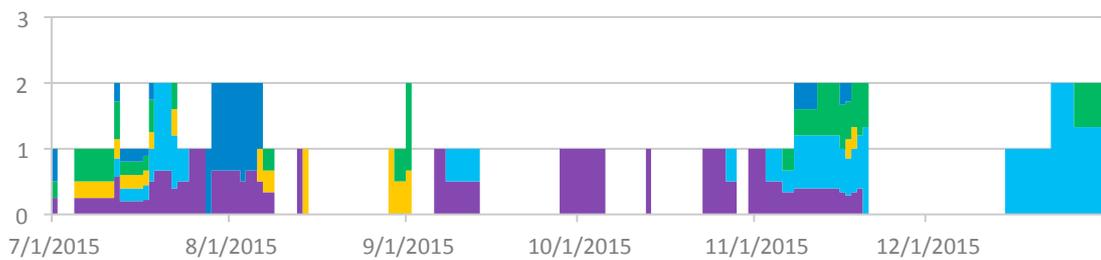
Westliches Mittelland



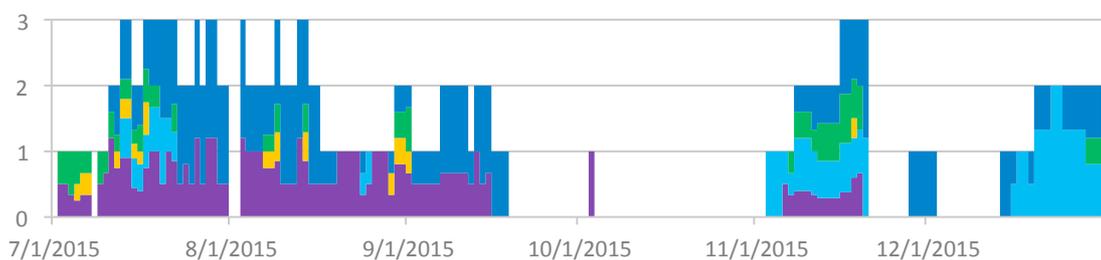
Östliches Mittelland



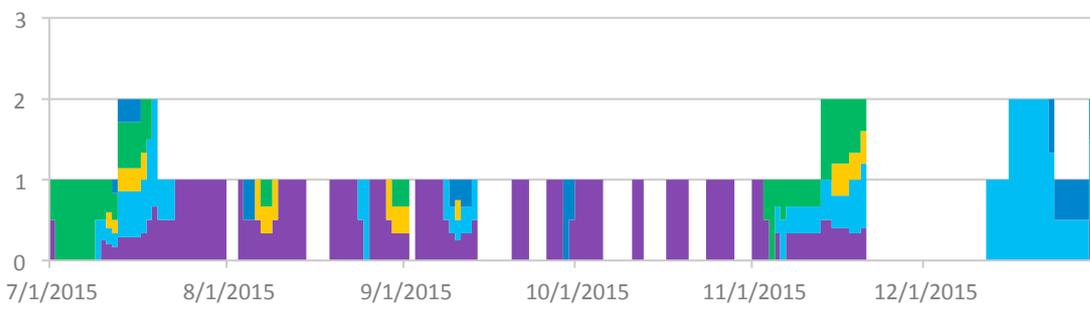
Westliche Voralpen



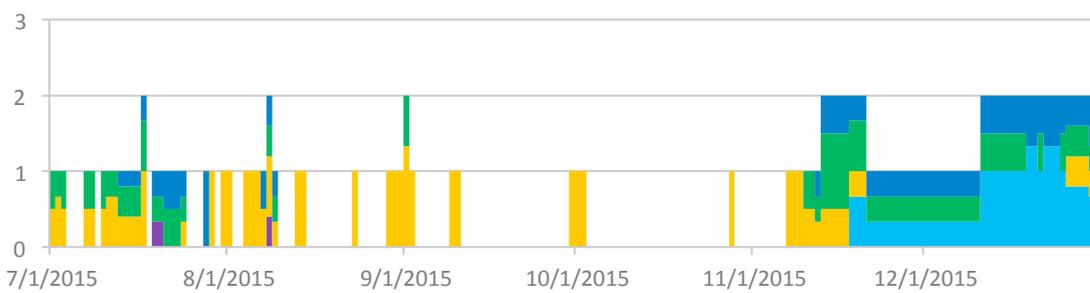
Östliche Voralpen



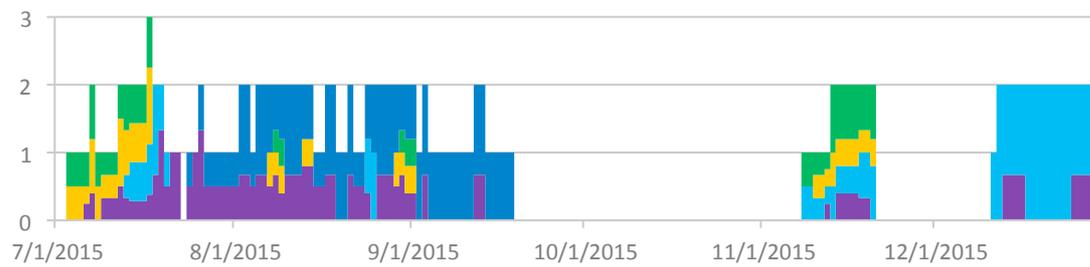
Wallis



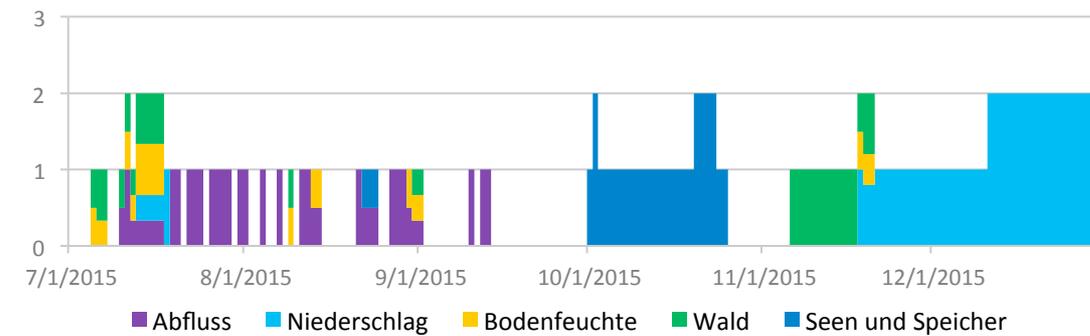
Tessin



Nord- und Mittelbünden

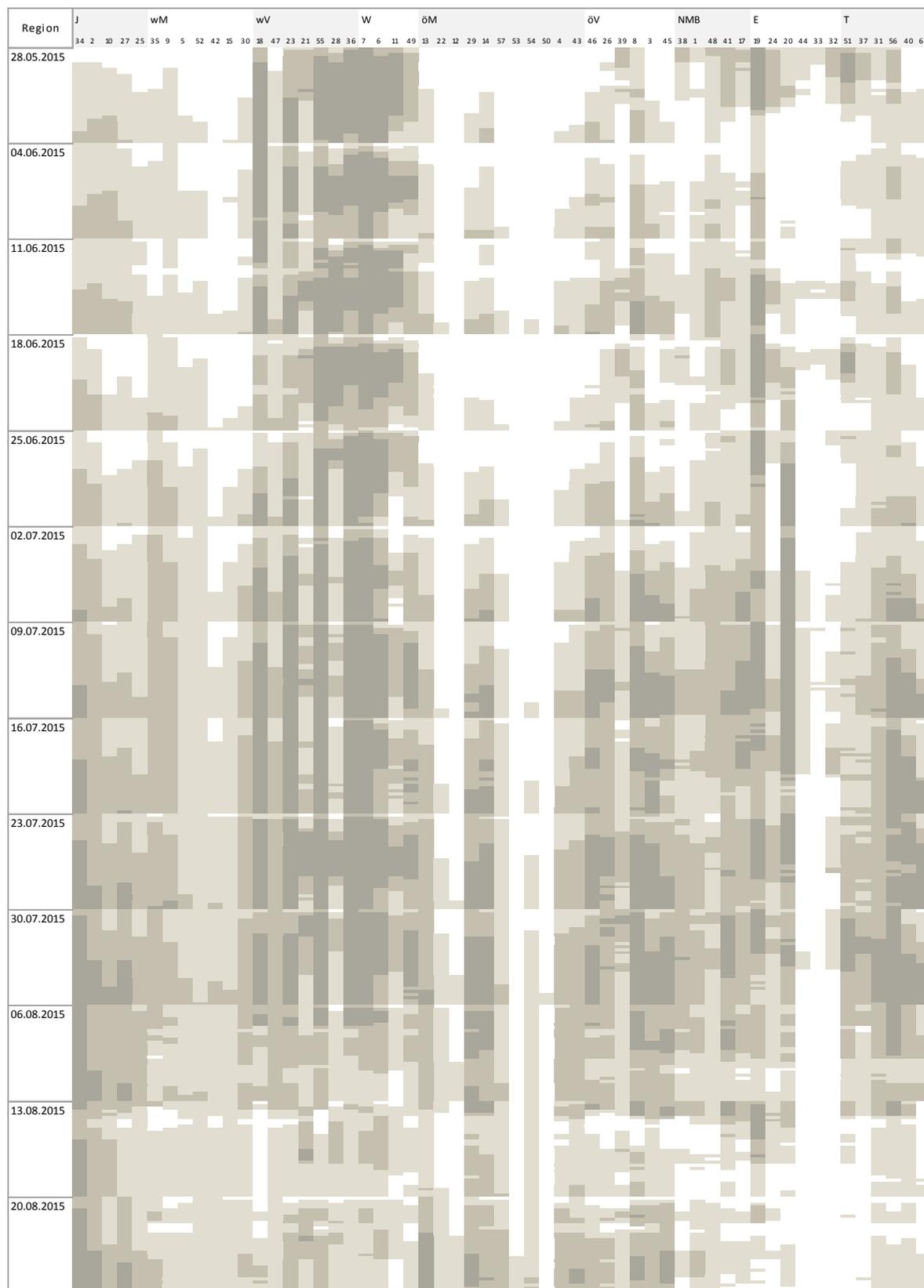


Engadin

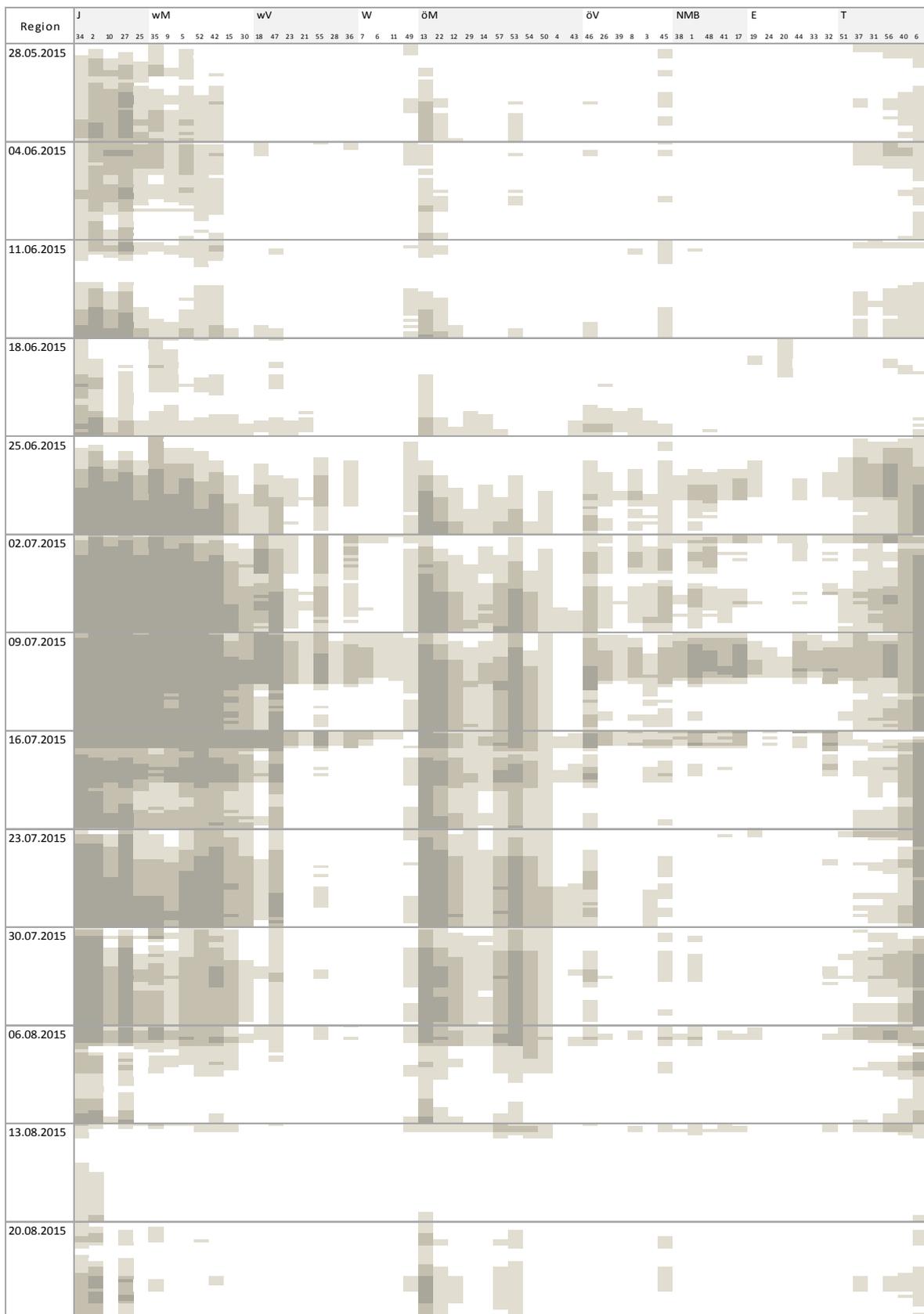


Anhang 7: Übersicht der langfristigen Trockenheitsprognosen vom 29.5 bis 20.8. der Parameter Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag

Abfluss



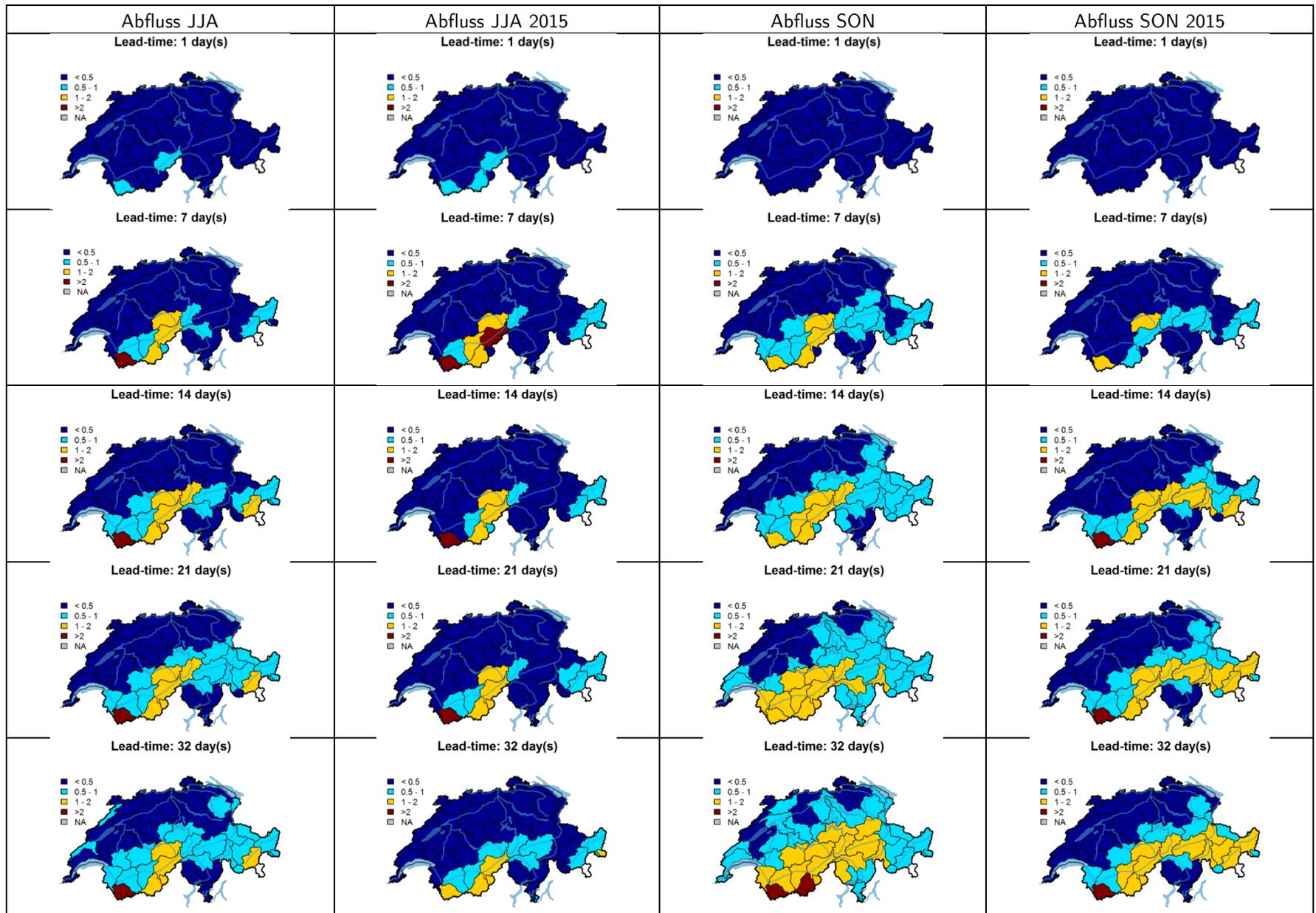
Bodenfeuchte

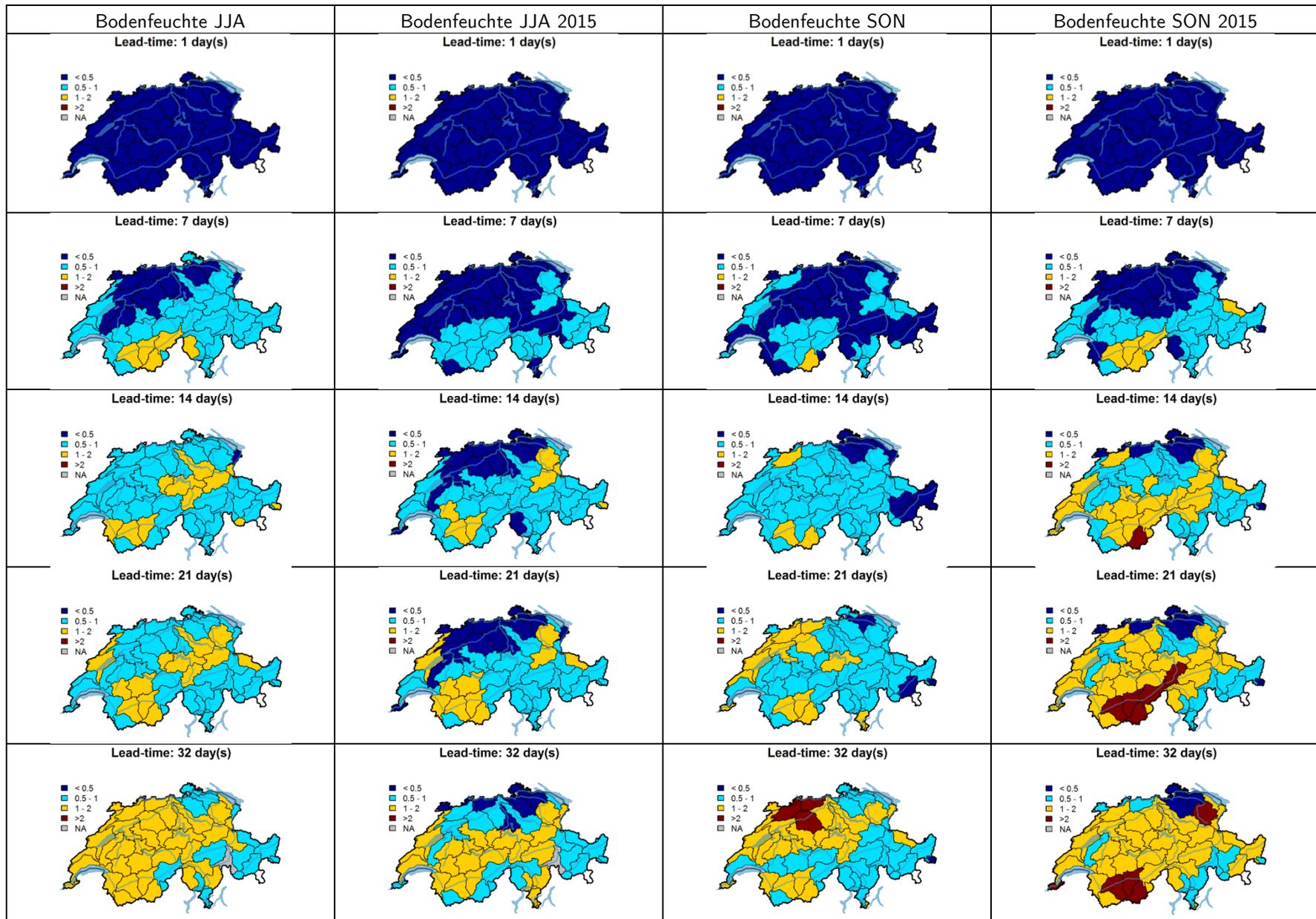


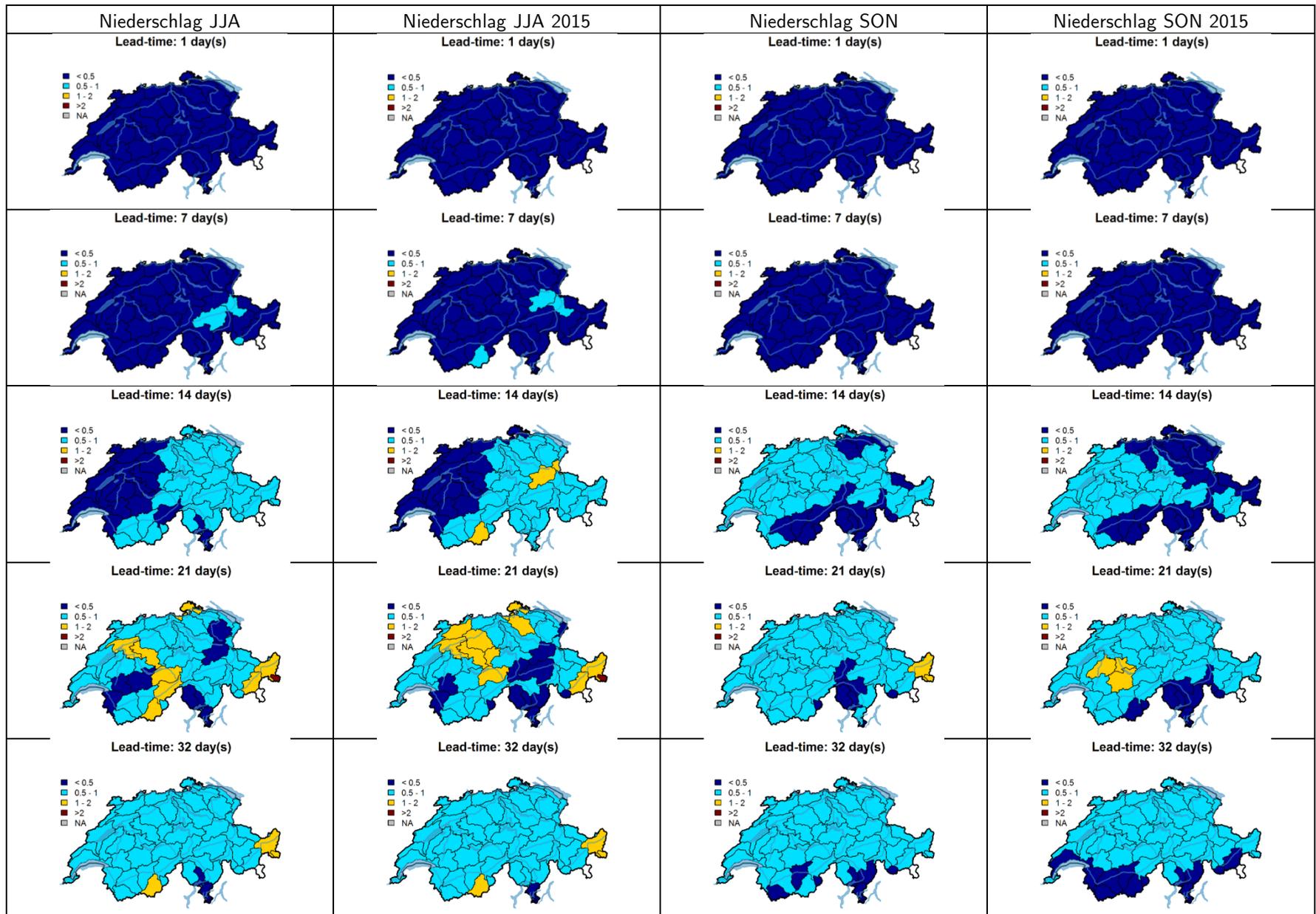
Niederschlag

Region	34	2	10	27	25	35	9	5	52	42	15	30	18	47	23	21	55	28	36	7	6	11	49	13	22	12	29	14	57	53	54	50	4	43	46	26	39	8	3	45	38	1	48	41	17	19	24	20	44	33	32	51	37	31	56	40	6
	J	wM					wV					W		öM					öV			NMB			E			T																													
28.05.2015	[Detailed precipitation data for 28.05.2015]																																																								
04.06.2015	[Detailed precipitation data for 04.06.2015]																																																								
11.06.2015	[Detailed precipitation data for 11.06.2015]																																																								
18.06.2015	[Detailed precipitation data for 18.06.2015]																																																								
25.06.2015	[Detailed precipitation data for 25.06.2015]																																																								
02.07.2015	[Detailed precipitation data for 02.07.2015]																																																								
09.07.2015	[Detailed precipitation data for 09.07.2015]																																																								
16.07.2015	[Detailed precipitation data for 16.07.2015]																																																								
23.07.2015	[Detailed precipitation data for 23.07.2015]																																																								
30.07.2015	[Detailed precipitation data for 30.07.2015]																																																								
06.08.2015	[Detailed precipitation data for 06.08.2015]																																																								
13.08.2015	[Detailed precipitation data for 13.08.2015]																																																								
20.08.2015	[Detailed precipitation data for 20.08.2015]																																																								

Anhang 8: Übersichtskarten des GMRAE für die Parameter Abfluss, Bodenfeuchte und Niederschlag.
1. Spalte: Juni, Juli, August der Referenzperiode (2012 -2015). 2. Spalte: Juni, Juli, August 2015.
3. Spalte: September, Oktober, November der Referenzperiode (2012-2015). 4. Spalte: September, Oktober November 2015. Blautöne: GMRAE < 1. Gelb und Rot: GMRAE > 1







Persönliche Erklärung

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

Ort und Datum

Madlaina Juvalta