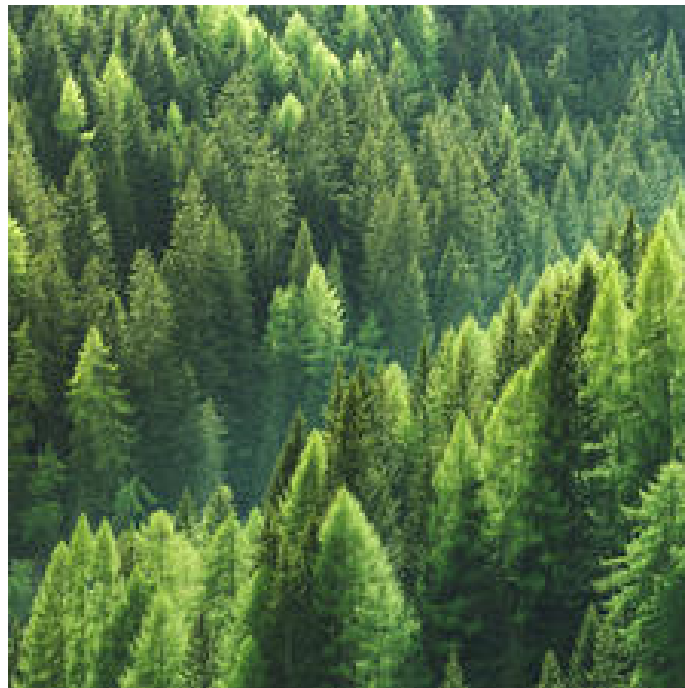


Klimadaten für die Waldforschung

Berechnung von historischen Meteodaten und Trockenheitsindizes für die Waldforschung auf der Basis von SwissMetNet-Stationsdaten



Bern, 22.07.2022

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Impressum

Auftraggeber

Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wald, CH-3003 Bern
Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer

Meteotest AG
Fabrikstrasse 14
CH-3012 Bern
+41 31 307 26 26
www.meteotest.ch

Autoren

Jan Remund, Pascal Graf

Begleitung BAFU

Dr. Sabine Augustin

Hinweis

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Berechnung von Meteodaten	6
2.1	Räumliche Auflösung	6
2.2	Datengrundlage	6
2.3	Räumliche Interpolation	7
2.4	Zeitliche Aggregation	8
2.5	Korrekturen	8
2.5.1	Geländekorrektur	8
2.5.2	Beschattungskorrektur	9
2.5.3	Sonstige Korrekturen	9
3	Berechnung der Trockenstress-Parameter	10
3.1	Potentielle Evapotranspiration (ETP)	10
3.2	Klimatische Wasserbilanz (KWB)	10
3.3	Die Standortwasserbilanz (Site Water Balance, SWB)	11
3.4	Aktuelle zu potenzieller Evapotranspiration (ETA/ETP)	13
4	Unterschied zwischen den Versionen 2019 und 2020	14
4.1	Unterschied von ETA/ETP auf Tages- und Monatsbasis gerechnet ...	16
5	Ergänzung: Komplexe Berechnung von ETA/ETP	19
5.1	Berechnung von «etapC»	19
5.1.1	Unterschiede zu Remund et al. (2016)	19
5.2	Vergleich zwischen simpler und komplexer Version von ETA/ETP ...	20
6	Aufbau der netCDF Dateien	23
7	Zugriff auf die Daten	24
7.1	Dateistruktur	24
7.2	Zugriffsarten	24
8	Referenzen	25

Glossar

ETP	Potentielle Evapotranspiration
ETA	Aktuelle Evapotranspiration
SWB	Standortwasserbilanz (Site Water Balance) auf Monatsbasis berechnet
SWBday	Standortwasserbilanz (Site Water Balance) auf Tagesbasis berechnet
KWB	Klimatische Wasserbilanz
ETA/ETP	Aktuelle / Potentielle Evapotranspiration (Trockenheitsindex)
etapC	Komplexe Variante von ETA/ETP (siehe Kapitel 5)
tas, tasmin, tasmax	Temperatur auf 2m Höhe über Boden (Tagesmittel, Tagesminimum und -maximum)
td	Taupunkttemperatur
ff	Windgeschwindigkeit auf 10m über Boden [m/s]
gh	Globalstrahlung, horizontal [W/m ²]
pr	Niederschlagsmenge [mm]
e, e _{sat}	Dampfdruck und Sättigungsdampfdruck von Wasserdampf in Umgebungsluft
SwissMetNet	Automatisches Messnetz von Meteoschweiz
Landnutzungsklassifizierung	Klassifizierung der Schweiz in 25 verschiedene Geländeklassen. Daraus lassen sich u.a. Lagen an einem See oder in einer Stadt ausscheiden.

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsprogramms "Wald und Klimawandel" des BAFU und der WSL hat Meteotest seit 2010 verschiedene Datensätze und Analysen für Trockenheitsanalysen von Wäldern berechnet. Diese Arbeit basiert auf diesen Daten und den im Rahmen der genannten Projekte entwickelten Methoden, welche in Remund et al. 2016a und Remund et al., 2016b) beschrieben sind.

Die Zielgrößen waren Tages- und Monatswerte von diversen Meteoparametern (Temperatur, Niederschlag, Feuchte, Wind und Globalstrahlung) und von daraus abgeleiteten Trockenheitsparametern (KWB, SWB, ETP, ETA/ETP) in einer Auflösung von 250m x 250m. Die Zeitperiode umfasste die Jahre 1901-2100. Historische Werte basierten auf MeteoSchweiz-Messungen, zukünftige Daten bisher auf den CH2011 Szenarien (CH2011, 2011), für die Schweiz berechnet mit 11 regionalen Klimamodellen (Remund et al., 2016). Im Rahmen der Aktualisierung der Szenario-Berechnungen auf die neuen CH2018 Szenarien wurden auch die historischen Daten für die Jahre 1981-2020 neu gerechnet. Der Grund hierfür waren Neuerungen bei einigen für die räumliche Interpolation in wichtigen Parametern, sowie die Berechnungen neu auf Tagesbasis.

Dieser Bericht fasst die angepassten und verbesserten Methoden zur Berechnung der historischen Daten für die Jahre 1981-2020 zusammen.

2 Berechnung von Meteodaten

2.1 Räumliche Auflösung

Das Raster der räumlichen Auflösung (Gitter) wird durch die Schweizer Landeskoordinaten (CH1903+ / LV95) definiert. Es entspricht 1412 x 968 Gitterpunkten mit einer räumlichen Auflösung von 250 m x 250 m und dem Ursprung bei 2'481'125 / 1'062'125. Die Koordinaten der Zellenmittelpunkte entsprechen demnach einem Vielfachen von 250. (z.B. 2'481'250 / 1'062'250 für die Zelle ganz unten links)

2.2 Datengrundlage

Als Datengrundlage für die Interpolation wurden Meteodaten von SwissMetNet-Stationen aus dem Zeitraum 1981 – 2020 verwendet. Verwendet wurden Stationsmesswerte mit täglicher Auflösung für die Meteoparameter tas, tasmin, tasmax, td, ff, gh und pr (Erklärung siehe Glossar). Die Anzahl der verfügbaren Stationsmesswerte hängt vom Jahr und vom Parameter ab. Im Dezember 2019 sind für Niederschlag 550 Stationen, für die restlichen Parameter zwischen 132 und 154 Stationen verfügbar.

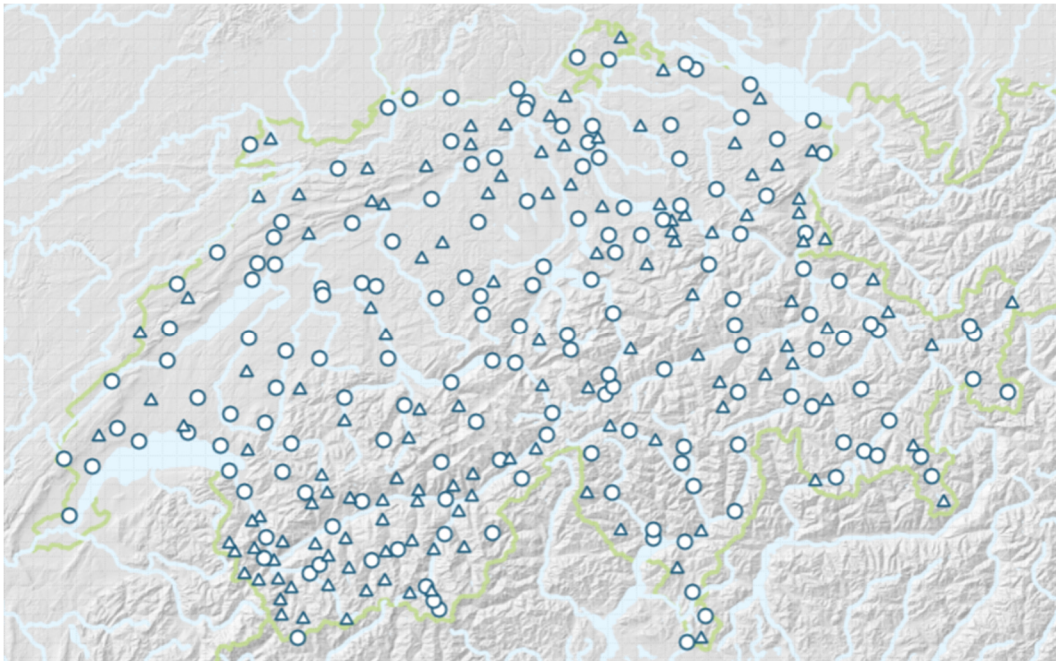


Abbildung 1: Verteilung der SwissMetNet Stationen in der Schweiz. Dreiecke markieren Niederschlagsstationen, Kreise Wetterstationen, welche zusätzlich die anderen Meteoparameter messen. Quelle: <https://www.meteoschweiz.admin.ch/home/mess-und-prognose-systeme/bodenstationen/automatisches-messnetz.html> [24.11.2020]

Für die Interpolation auf Kartenpunkte, sowie verschiedene Korrekturen wurde ein hochaufgelöstes Höhenmodell mit 250m horizontaler Auflösung verwendet.

Für die Korrektur der Kartenpunkte mit der Lage an einem See oder in einem Siedlungsgebiet wird eine schweizweite Landnutzungsklassifizierung mit 25 Geländeklassen verwendet.

Informationen zur Wasserspeicherfähigkeit (für ETA/ETP-Berechnungen) basieren auf der 2014 erstellten Karte der nutzbaren Feldkapazität für Waldböden (Remund et al. 2016c).

2.3 Räumliche Interpolation

Für die Interpolation der Stationswerte auf Kartenraster werden die acht nächstgelegenen Stationen verwendet. Die Distanz entspricht grundsätzlich der geographischen Distanz, wobei die vertikale Distanz mit dem Faktor 100 (pr: 50; gh: 20) multipliziert wird um der stärkeren Änderung der Meteoparameter mit der Höhe Rechnung zu tragen. Im Vergleich zu Remund et al. (2011) wurde für gh der kleinere Faktor 20 (statt 50) gewählt, weil dies erfahrungsgemäss realistischere Werte liefert.

Werte von inner- und ausseralpinen Gebieten können sich bei gewissen Wetterverhältnissen erheblich unterscheiden. Für alle Meteoparameter (ausser ff) erhalten daher inner- bzw. ausseralpine Stationen (wie z.B. das Wallis und das Berner Oberland), die zur Interpolation für ausser- bzw. inneralpine Kartenpunkte verwendet werden, einen Distanzzuschlag von 20 km, um den Einfluss der ausseralpinen Standorte für inneralpine Regionen – und umgekehrt - geringer zu gewichten.

Die Werte werden mittels der inverse-distance-Methode berechnet:

$$x_p = \frac{\sum_{i=1}^8 \left(x_i \cdot \frac{(1 - d_i)^2}{d_i^2} \right)}{\sum_{i=1}^8 \left(\frac{(1 - d_i)^2}{d_i^2} \right)}$$

Wobei x_p dem resultierenden Wert am Kartenpunkt p, x_i dem Messwert an Station i und d_i der Distanz zwischen Station i und dem Kartenpunkt p entspricht.

Liegt unter den acht Stationsdaten eine Korrelation von $r^2 \geq 0.5$ zwischen den Messwerten und der Stationshöhe vor, wird diese Höhenabhängigkeit im resultierenden Wert ebenfalls berücksichtigt. Durch diese Korrektur könnten unrealistische Werte wie z.B. ein negativer Wert für den Wind ff entstehen. Um dies zu verhindern werden folgende Grenzwerte für den interpolierten Kartenpunkt angewendet:

Tabelle 1: Grenzwerte für die Höhenabhängigkeits-Korrektur

Parameter	Unterer Grenzwert	Oberer Grenzwert
tas, tasmin, tasmax, td	$\min(x_i) - 5$	$\max(x_i) + 5$
gh, ff, pr	0 oder $0.5 \cdot \min(x_i)$	$2 \cdot \max(x_i)$

2.4 Zeitliche Aggregation

Sämtliche Daten werden auf Tagesbasis gerechnet. Für die weitere Verarbeitung werden diese auf Monatswerte gemittelt (alle Parameter ausser Niederschlag, KWB und ETP) oder summiert (Niederschlag, KWB und ETP). Die Jahresmittel werden in gleicher Weise durch Mittelung oder Aufsummierung aller Monate gebildet, mit Ausnahme der Trockenheitsparameter SWB, KWB und ETA/ETP (siehe jeweiliger Abschnitt im Kapitel 3).

2.5 Korrekturen

2.5.1 Geländekorrektur

Stationsmesswerte und Interpolationspunkte werden entsprechend der Nord-Süd-Hangneigung und der Lage an einem See oder in einem Siedlungsgebiet korrigiert. Eine solche Korrektur macht nur für die Meteoparameter tas, tasmin, tasmax und td Sinn und wird daher für alle anderen Parameter nicht angewendet. Folgende Geländeklassen werden unterschieden:

Nord-Süd-Hangneigung: Mittels geglättetem Höhenmodell (Glättung von 1.25 km) werden Nord-Süd-Hangneigungen von über 20% und zwischen 10 und 20% identifiziert (5 Klassen).

See / Stadt: Mittels Landnutzungsklassifikation werden Stationen und Pixel identifiziert, bei welchen in einer 1.25 km x 1.25 km Umgebung mindestens 40% der Pixel als See bzw. Stadt klassifiziert sind.

Für jeden Zeitschritt wird geschaut, ob die höhenkorrigierten Stationsmesswerte der Geländeklasse signifikant vom Durchschnitt aller Stationsmesswerte abweichen. Signifikant heisst hier, dass der Unterschied grösser als die halbe Standardabweichung der Werte in der entsprechenden Geländeklasse sein muss. Ist dies der Fall, werden alle Stationsmesswerte der Geländeklasse mit dem durchschnittlichen Unterschied korrigiert.

Die Chance, dass ein Unterschied signifikant ist, steigt mit der Anzahl der verfügbaren Stationen. Daher werden Werte für 2020 deutlich häufiger korrigiert als die für 1981, als noch weniger Stationen vorhanden waren.

2.5.2 Beschattungskorrektur

In der Schweiz ist die Globalstrahlung (gh) stark durch Beschattung durch die Topographie beeinflusst. Eine beschattete Station im Tal weist z.B. eine tiefere Globalstrahlung auf als der nahe gelegene, unbeschattete Südhang. Eine direkte Interpolation wäre fehlerhaft, da der resultierende Wert eines Kartenpunktes vor allem von der Beschattung der nahegelegenen Stationen durch Topographie abhängt, statt von der tatsächlichen Beschattung. Um dies zu verhindern, werden Stationen mit Beschattung vor der Interpolation korrigiert, damit sie so behandelt werden können, als ob sie keinen hohen Horizont hätten. Die so auf Kartenpunkte interpolierte Globalstrahlung entspricht einer flachen Schweiz ohne Beschattung durch die Topographie.

Um die tatsächliche Globalstrahlung zu berechnen, wird dieser Wert mittels Beschattungskarten wieder korrigiert. Diese enthält für jeden Kartenpunkt einen Korrekturfaktor, der vom Monat und vom Bedeckungsgrad abhängt (bei bedecktem Himmel nimmt die Strahlung durch einen hohen Horizont weniger stark ab).

2.5.3 Sonstige Korrekturen

Windgeschwindigkeiten von Turmmessungen wurden mit dem Faktor 0.72 korrigiert (Stationen Uetliberg, St. Chrischona und Bantiger) [0.72: basiert auf der Korrektur der Messhöhe mittels Modell für ein logarithmisches Windprofil für eine Turmhöhe von 100 m und einer Rauigkeitslänge von 0.03 m].

Für Stationsdaten werden physikalische Grenzwerte festgesetzt um fehlerhafte Werte auszuschliessen. Dazu wurden folgende Grenzwerte verwendet:

Tabelle 2: Physikalische Grenzwerte für Stationsdaten

Parameter		Unterer Grenzwert	Oberer Grenzwert
tas, tasmin, tasmax td	Mai – Sep	-20°C	50°C
	Apr + Okt	-30°C	50°C
	Nov - Mär	-50°C	50°C
ff		0 m/s	40 m/s
pr		0 mm	380 mm (Tageswert)*
gh		0 W/m ²	450 W/m ²

*Der Schwellenwert bei pr von 380 mm wurde in früheren Versionen auch auf Monatswerte angewendet. Dadurch waren in einzelnen Fällen (v.a. im Tessin) die interpolierten Monatswerte zu tief. Der Einfluss auf die Trockenstressparameter ist jedoch vernachlässigbar.

3 Berechnung der Trockenstress-Parameter

3.1 Potentielle Evapotranspiration (ETP)

Die potentielle Evapotranspiration wird sowohl für die Berechnung der Site Water Balance, sowie für ETA/ETP verwendet. Es wurden zwei verschiedene Berechnungsmöglichkeiten verwendet:

Die Berechnung nach Romanenko (1961) wird aus Temperatur (T ; t_{as}) und relativer Feuchte (RH ; aus t_{as} und t_d berechnet) berechnet und ergibt die potentielle Evapotranspiration während eines Monats:

$$ETP_{RO} = 0.0021 \cdot (25 + T)^2 \cdot (100 - RH)$$

Die Berechnung nach Penman-Monteith (1965) wird aus Temperatur, Taupunkttemperatur und Wind berechnet und ergibt die potentielle Evapotranspiration während eines Tages:

$$ETP_{PE} = 0.34 \cdot (1 + 0.24 \cdot ff) \cdot (e - e_{sat})$$

mit

$$e = 6.11 \cdot \exp\left(\frac{17.1 \cdot T}{234.2 + T}\right) \quad \text{und} \quad e_{sat} = 6.11 \cdot \exp\left(\frac{17.1 \cdot T_d}{234.2 + T_d}\right)$$

wobei e = Dampfdruck und e_{sat} = Sättigungsdampfdruck von Wasserdampf in Umgebungsluft.

Für die Berechnung von SWB, KWB und ETA/ETP wird jeweils die potentielle Evapotranspiration nach Romanenko verwendet. Um aus Monatswerten (Formel oben) Tageswerte zu erhalten, wird ETP_{RO} durch 30.4 geteilt.

Die Monats- und Jahresfiles enthalten die totale potentielle Evapotranspiration der Zeitperiode, nicht den Durchschnitt.

3.2 Klimatische Wasserbilanz (KWB)

Die Klimatische Wasserbilanz ist die Differenz aus Niederschlag (pr) und potentieller Evapotranspiration:

$$KWB = pr - ETP_{RO}$$

Sie ist positiv, wenn der Niederschlag höher ist als ETP, negativ wenn ETP größer ist.

Der Wert in den Jahresfiles entspricht dem Total der Monate April bis August.

3.3 Die Standortwasserbilanz (Site Water Balance, SWB)

Die Standortwasserbilanz (SWB) ist die Basis für verschiedene Trockenheitsindikatoren und damit eine Standardgrösse für ökologische Auswertungen. Sie eignet sich besser als die klimatische Wasserbilanz, weil zusätzlich neben Niederschlag und Verdunstung die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum (nFK) berücksichtigt wird. Damit trägt man dem Umstand Rechnung, dass bei gesättigtem Boden oder bei starkem Niederschlag nicht alles Wasser vom Boden aufgenommen werden kann. Es fliesst ab und ist somit nicht mehr für die Vegetation verfügbar.

Die Standortwasserbilanz entspricht zu Beginn des Jahres der nFK und wird dann laufend durch die klimatische Wasserbilanz ergänzt, ist aber gegen oben durch die nFK limitiert:

$$\begin{aligned} SWB_t &= SWB_{t-1} + pr - ETP_{RO} & \text{wenn } SWB_t < nFK \\ SWB_t &= nFK & \text{wenn } SWB_t \geq nFK \end{aligned}$$

Die SWB wird zu Beginn jeden Jahres definitionsgemäss wieder zurück auf nFK gesetzt. Durch die Rücksetzung des Wasserspeichers auf nFK wird vermieden, dass sich das Defizit aus Abfluss und potentieller Evapotranspiration innerhalb eines Jahres im Folgejahr rechnerisch auf die SWB auswirkt (u.a. weil mit der potenziellen ET gerechnet wurde). Die SWB eignet sich, um für einen Standort das Feuchteangebot für die Vegetation in der Vegetationszeit zu beschreiben.

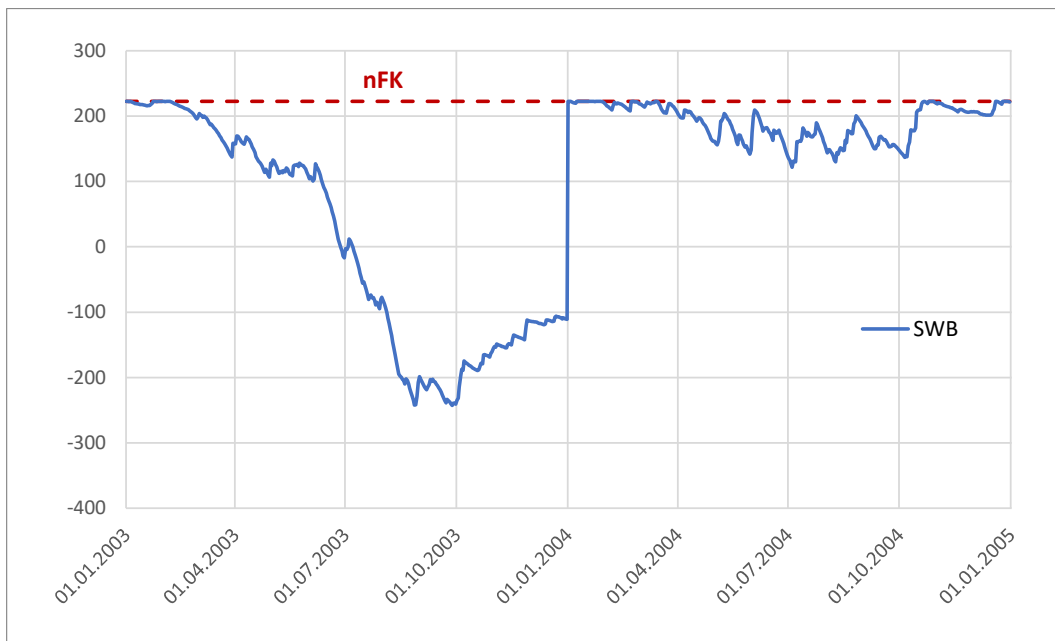


Abbildung 2: Entwicklung der SWB während der Jahre 2003 und 2004 am Standort Bern. Der Sprung am 01.01.2004 erfolgt durch die Rücksetzung auf nFK.

Die von Meteotest bereitgestellten Daten auf Monats- oder Tagesbasis sind Standardwerte. Sie wurde standardmässig für den Zeitraum April bis August berechnet und als SWB_year XXX abgelegt.

Für ökologische Auswertungen kann sich der Nutzer aus den täglichen Daten eigene Zeitreihen berechnen oder standortspezifische Anpassungen vornehmen:

- Vegetationszeit: ist der Beginn der Vegetationszeit und/oder ihr Ende für ein bestimmtes Jahr oder eine Höhenstufe bekannt, so können diese Werte aus den Tageswerten selbst berechnet werden (siehe auch Braun et al. 2015).
- Die Minimum-Wasserbilanz innerhalb eines Jahres als Trockenheitsindikator.

Hinweis für Nutzer der Wasserbilanzen:

- Bodenwasserspeicher: Ist die nFK für einen Standort bekannt so sollte diese für die SWB (und ETA/ETP) verwendet werden. Die Standardlieferungen verwenden als default für Standorte ohne gemessene nFK die aufgrund der Beziehung zwischen Lithologie und Textur geschätzten nFK-Werte (Renger et al. 2008; Remund und Rihm 2016c).
- Für die Bewertung oder Vergleiche können/sollten folgende Bewertungsrahmen verwendet werden. Für die KWB die Forstliche Standortaufnahme (Arbeitskreis Standortkartierung 2003); für die SWB z.B. Spellmann et al. 2011.

Unterschiede zur alten Variante der SWB

Die Standortwasserbilanz (SWB) wird erst seit dieser Version der Daten auf Tagesbasis gerechnet. In den Vorläuferprojekten seit 2011 wurde SWB stets auf Monatsbasis gerechnet und die Rücksetzung wurde anders gehandhabt. Aus Konsistenzgründen wird SWB auch weiterhin nach der alten Variante gerechnet und unter dem Namen «SWBalt» in separaten Files abgelegt. Die Unterschiede zwischen SWB und SWBalt werden im Folgenden kurz erläutert:

	SWB	SWBalt
Berechnung	Auf Tagesbasis	Auf Monatsbasis
Rücksetzung des SWB-Status	Rücksetzung auf nFK am 01.01.	Rücksetzung auf 0 erfolgt am Anfang des ersten Monats von September bis Dezember mit positiver KWB. Hat keiner dieser Monate eine positive KWB, erfolgt die Rücksetzung Anfang Januar.
Tagesfiles	Summe der SWB-Tageswerte	<i>existieren nicht</i>
Monatsfiles	SWB am Ende des Monats	
Jahresfiles	<i>existieren nicht</i>	Δ SWB über den Vegetationszeitraum (Apr – Aug)

Durch die Umstellung der Berechnung auf Tagesbasis wurde die Qualität der Daten erhöht. Dies sei an einem Beispiel erläutert:

Wir betrachten einen Monat mit KWB = 0 und 100% gefülltem Bodenwasserspeicher zu Beginn des Monats. Sämtlicher Niederschlag fällt in der ersten Monatshälfte und übersteigt die Verdunstung (ETP). In der zweiten Monatshälfte fällt kein Niederschlag. Die KWB ist somit in der ersten Monatshälfte positiv, in der zweiten Monatshälfte negativ. Die SWB ist in der ersten Monatshälfte gleich der nFK, denn der überschüssige Niederschlag fließt ab, und die ETP ist geringer als der Niederschlag. Die nFK bleibt unverändert gefüllt.

In der zweiten Monatshälfte ohne Niederschlag wird der Bodenspeicher durch ETP geleert und der «Füllstand» des Bodenspeichers vermindert sich. Die SWB Ende Monat ist nun geringer als die nFK.

Bei einer Berechnung auf Monatsbasis würde der überschüssige Niederschlag aus der ersten Monatshälfte in der zweiten Monatshälfte rein rechnerisch zur Verfügung stehen, was real nicht der Fall ist. Die SWB auf Tagesbasis bildet daher das Feuchteangebot bzw. das Trockenheitsgeschehen im betreffenden Monat besser ab.

3.4 Aktuelle zu potenzieller Evapotranspiration (ETA/ETP)

Die Berechnung des Verhältnisses von aktueller Evapotranspiration (ETA) und potentieller Evapotranspiration (ETP) hängt von der aktuellen Füllung des Bodenwasserspeichers (im folgenden $nFK_{akt.St.}$ genannt) ab. Die Berechnungen starten mit einem Füllstand von 80% (100% entspräche vollständiger Wassersättigung) und wird dann für jeden Zeitschritt durch Niederschlag gefüllt und durch ETA geleert. Dabei darf die nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum (nFK) nicht überschritten werden und 0 nicht unterschreiten.

Die Berechnung von ETA hängt von der Füllung des Bodenspeichers ab. Ist der Bodenspeicher zu mehr als 60% gefüllt, so sind aktuelle und potentielle Evapotranspiration gleich. Darunter nimmt die aktuelle Evapotranspiration linear mit der Leerung des Bodenspeichers ab, bis sie bei leerem Bodenspeicher 0 erreicht (s. hierzu Breda et al. 2006).

$\frac{nFK_{akt.St.}}{nFK} \geq 0.6$	$ETA = ETP$	$\frac{ETA}{ETP} = 1$
$0 < \frac{nFK_{akt.St.}}{nFK} < 0.6$	$ETA = ETP \cdot \frac{nFK_{akt.St.}}{0.6 \cdot nFK}$	$\frac{ETA}{ETP} = \frac{nFK_{akt.St.}}{0.6 \cdot nFK}$
$\frac{nFK_{akt.St.}}{nFK} = 0$	$ETA = 0$	$\frac{ETA}{ETP} = 0$

Für die Monatsfiles werden die Tageswerte normal gemittelt. Für die Jahresbilanz werden nur die Monate April bis und mit August berücksichtigt (Durchschnitt).

4 Unterschied zwischen den Versionen 2019 und 2020

- Die Trockenheitsparameter ETP, ETA/ETP und SWB wurden neu auf Tagesbasis gerechnet, und erst dann zu Monatswerten aggregiert. Zuvor wurde nur auf Monatsbasis gerechnet, was eine Übereinkunft im Forschungsprogramm Wald & Klimawandel war. Die Berechnung auf Tagesbasis mit anschliessender Aggregation bewirkt einige Unterschiede in den Ergebnissen. Diese sind teilweise gross für ETA/ETP und werden deshalb in Kapitel 4.1 näher erläutert.
- Das räumliche Raster für die Berechnungen wurde in der neuen Version vereinheitlicht. Zuvor waren die Raster für Interpolation und Stationszuordnung um 125m verschoben. Alle Zellmittelpunkte befinden sich nun auf einem Vielfachen von 250 in Schweizer Landeskoordinaten (CH1903+). Die Berechnung der Hanglage wurde ebenfalls korrigiert, wodurch nun weniger Stationen an einem Südhang liegen und die Geländekorrektur weniger oft angewendet wird (siehe Abschnitt Geländekorrektur). Dies betrifft insgesamt wenige Stationen.
- Beschattungskorrektur:
Die Strahlungsmessungen der MeteoSchweiz weisen teils sehr hohe Einflüsse der Beschattung durch Berge auf. Die Station Visp erreicht z.B. während zwei Monaten keine direkte Sonneneinstrahlung.
In den bisherigen Versionen wurde keine Beschattungskorrektur der Messstationen durchgeführt (nur auf die Zielstandorte).
Neu werden die Stationsdaten vor der Interpolation mit einem Faktor korrigiert, welcher vom Monat und vom Bedeckungsgrad abhängt (an einem bedeckten Tag wird die Strahlung durch Beschattung weniger stark reduziert). Zur Bestimmung des Bedeckungsgrads werden Globalstrahlungs-Stationswerte mit einer Schönwetter-Zeitreihe der Station Bern verglichen.
Durch die Beschattungskorrektur erreichen beschattete Stationen und umliegende Gebiete im Winter neu eine höhere Globalstrahlung.

Die genannten Unterschiede sind sehr klein in flachen Gebieten und etwas grösser an Hanglagen (siehe Vergleich von Temperatur und Niederschlag zwischen alter und neuer Version in Abbildung 3 und Abbildung 4). Etwas grösser sind die Unterschiede für die Trockenheitsparameter, welche sehr sensitiv sind auf Änderungen in den vier Ausgangsparametern Temperatur, Taupunkttemperatur, Niederschlag und Windstärke. Hier ist anzumerken, dass die Unterschiede für die Windstärke zwischen den beiden Versionen sehr klein sind. Die beobachteten Unterschiede von SWB (Abbildung 5) sind somit grösstenteils auf Unterschiede in t_{as} , t_d und p_r zurückzuführen. Die Unterschiede von ETA/ETP (Abbildung 6) sind etwas grösser. Das liegt vor allem an der neuen, höheren Zeitauflösung, auf welcher ETA/ETP berechnet wird. Darauf wird im Abschnitt 4.1 vertieft eingegangen.

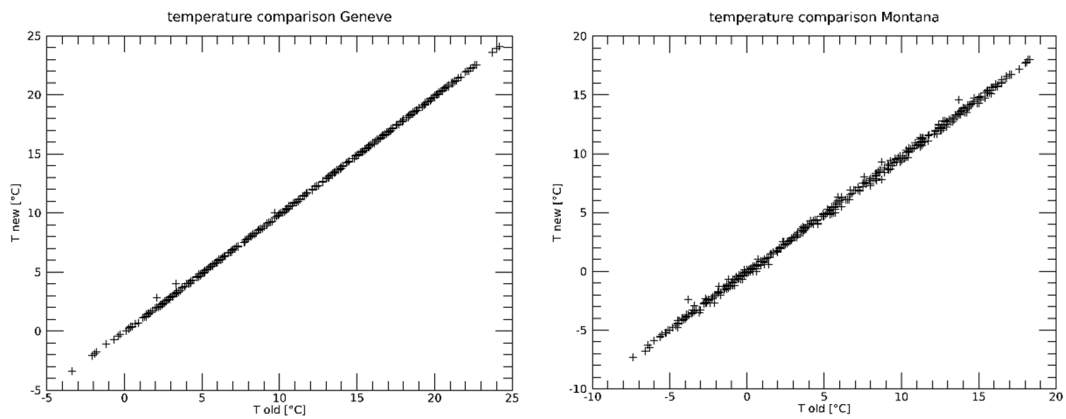


Abbildung 3: Lufttemperatur in Genf (links) und Crans-Montana (rechts): Vergleich der alten (x-Achse) und neuen Version (y-Achse). Gezeigt sind alle Monatsmittel von 1981 – 2018.

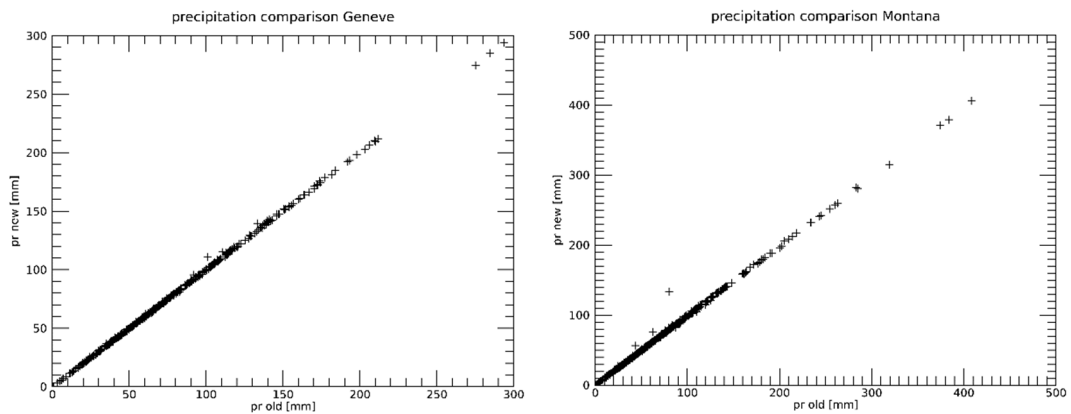


Abbildung 4: Niederschlag in Genf (links) und Crans-Montana (rechts): Vergleich der alten (x-Achse) und neuen Version (y-Achse). Gezeigt sind alle Monatssummen von 1981 – 2018.

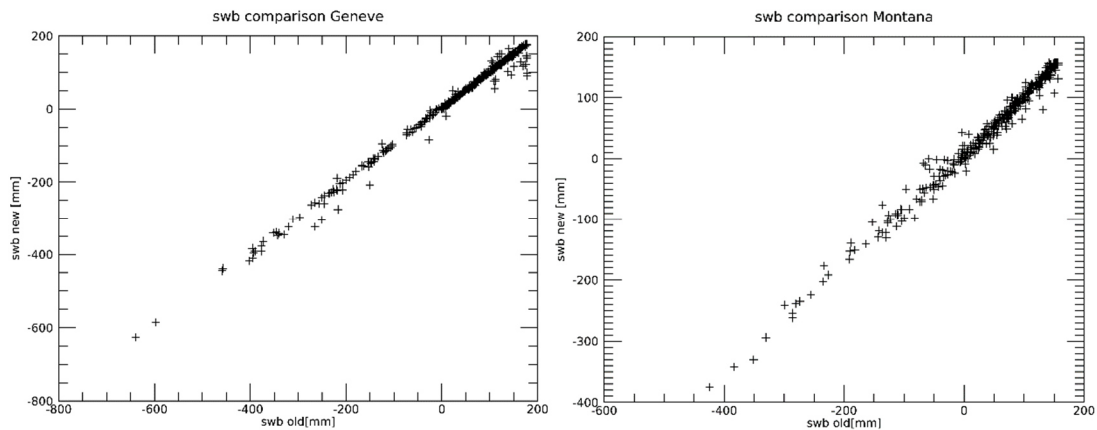


Abbildung 5: Monatliche Site Water Balance in Genf (links) und Crans-Montana (rechts) von 1981 - 2018: Vergleich der alten (x-Achse) und neuen Version (y-Achse).

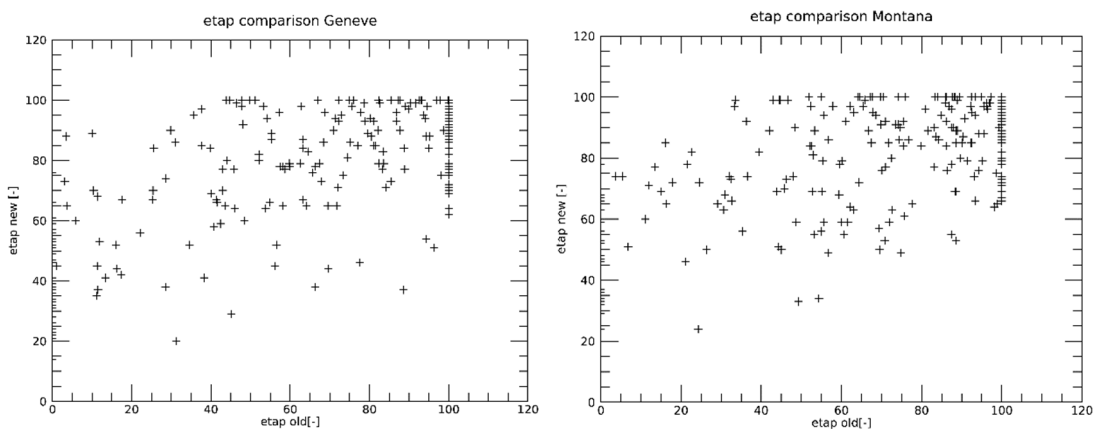


Abbildung 6: ETA/ETP (Monatsmittel, auf Tagesbasis gerechnet) in Genf (links) und Crans-Montana (rechts) von 1981 - 2018: Vergleich der alten (x-Achse) und neuen Version (y-Achse).

4.1 Unterschied von ETA/ETP auf Tages- und Monatsbasis gerechnet

Der Zeitschritt der Berechnung hat einen Einfluss auf die ETA/ETP Ergebnisse. Auf Monatsbasis gerechnet (siehe Abbildung 7) treten im Durchschnitt tiefere Werte auf als auf Tagesbasis gerechnet (Abbildung 8). Während die Gebiete mit $ETA/ETP = 1$ bei beiden Zeitschritten ungefähr gleichbleiben, sind Gebiete mit limitierter Wasserverfügbarkeit bei der Berechnung auf Monatsbasis trockener. Während auf Monatsbasis Gebiete mit $ETA/ETP=0$ auftreten, sind die tiefsten Werte auf Tagesbasis bei etwa 0.3 (Unterwallis). Diese Unterschiede sind im Ergebnis in den meisten Fällen zu vernachlässigen, da die Zuordnung von «trocken», d.h. $ETA/ETP < 0.8$ oder «nicht trocken» ($ETA/ETP > 0.8$) meistens

gleichblieb. Feinere Unterschiede innerhalb der Zuordnung «trocken» sind ökologisch wenig bis nicht relevant.

Wegen der höheren Zeitauflösung der auf Tagesbasis gerechneten Resultate sind diese als realistischer zu betrachten. Gebiete mit $ETA/ETP=0$, was nur auf Monatsbasis beobachtet wird, bedeutet, dass die Pflanzen von April bis August kein Wasser für die Verdunstung zur Verfügung hatten. Das ist sehr unrealistisch, zumal 2009 kein aussergewöhnlich trockenes Jahr war.

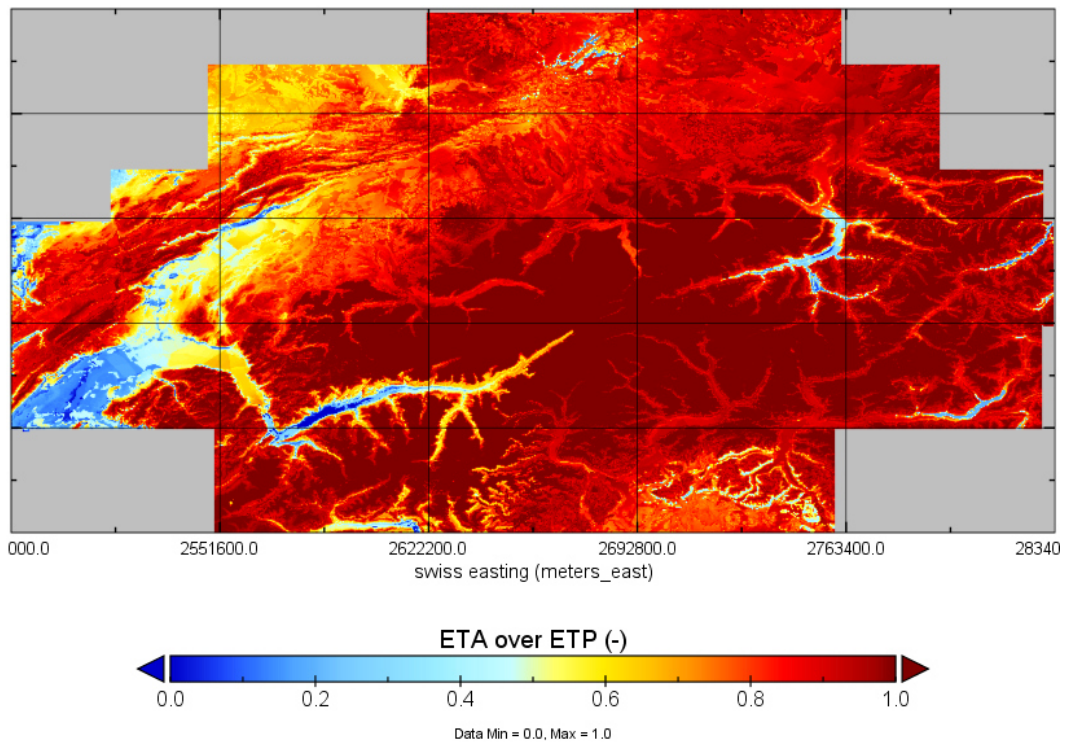


Abbildung 7: ETA/ETP Jahresmittel 2009, gerechnet auf Monatsbasis

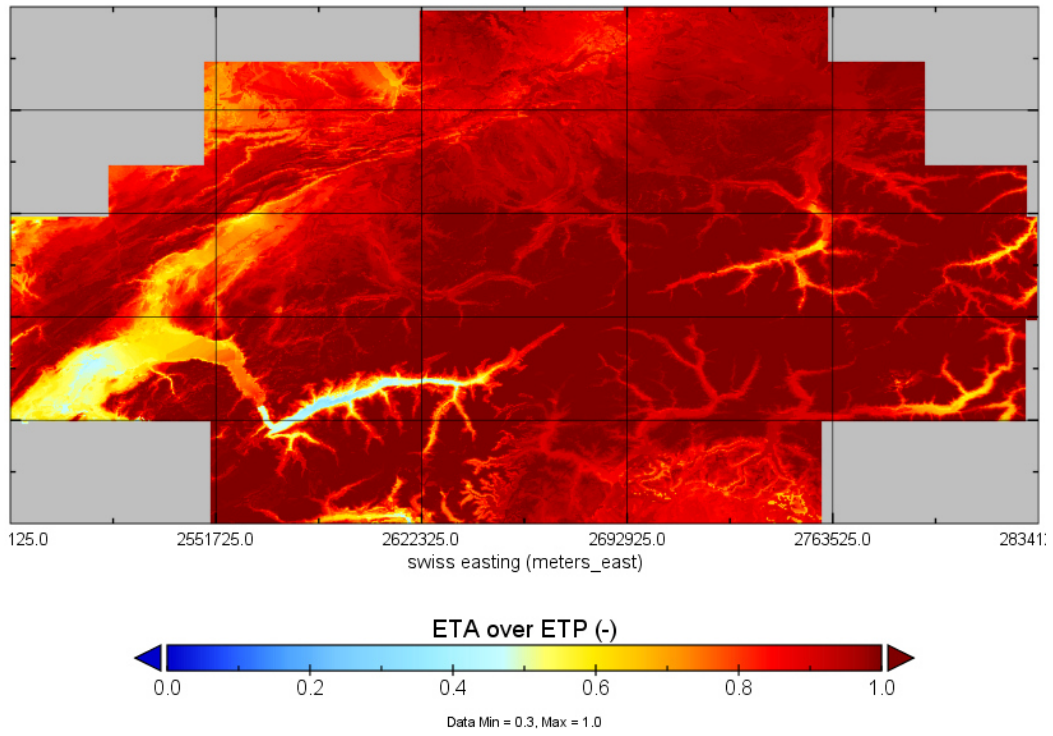


Abbildung 8: ETA/ETP Jahresmittel 2009, gerechnet auf Tagesbasis

5 Ergänzung: Komplexe Berechnung von ETA/ETP

Für die letzte Aktualisierung der Daten wurde eine zusätzliche Variante der Berechnung von ETA/ETP hinzugefügt. Bei dieser Variante werden zusätzlich Baumverdunstung, Bodenverdunstung und die Interzeption modelliert. Diese Berechnung wurde bereits in Vorgängerprojekten unter dem Namen «ETA/ETP mit Interzeption» für einzelne Standorte durchgeführt. Diese komplexere Version von ETA/ETP wurde nun auch für flächige Daten vorgenommen.

Die Berechnung der komplexen Variante von ETA/ETP («etapC») wird bereits detailliert in Remund et al. (2011) beschrieben. Im Folgenden werden deshalb nur die wichtigsten Punkte, sowie Abweichungen von der Berechnung nach Remund et al. (2011) beschrieben.

5.1 Berechnung von «etapC»

Im Gegensatz zur simplen ETA/ETP wird ETA bei der komplexen Variante nicht mehr alleine durch den Füllstand des Bodenwasserspeichers bestimmt, sondern setzt sich aus Bodenverdunstung ET_{SA} , Baumverdunstung T_A und Interzeption E_i zusammen:

$$ETA = ET_{SA} + T_A + E_i$$

Die Baumverdunstung T_A hängt wie die ETA/ETP von der aktuellen Füllung des Bodenwasserspeichers ab. Der Bodenwasserspeicher eines Standorts wird so festgesetzt, dass er der nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum (nFK) entspricht. Der Füllstand des Bodenwasserspeichers darf nFK nicht überschreiten und 0 nicht unterschreiten. Die Berechnungen starten mit einem Füllstand von 80% (100% entspräche vollständiger Wassersättigung) und wird dann für jeden Zeitschritt durch Niederschlag gefüllt und durch Verdunstung geleert.

Die Berechnung der potentiellen Evapotranspiration ETP erfolgt nach Penman-Monteith (1965) (siehe Abschnitt 3.1) und unterscheidet sich somit von der normalen ETA/ETP.

«etapC» wird ausschliesslich auf Tagesbasis berechnet.

5.1.1 Unterschiede zu Remund et al. (2016)

Konstanter «discharge factor»

In Remund et al. (2016) wird der «discharge factor p_b » aufgrund des Bodenanteile Sand, Schluff und Ton bestimmt. Weil diese Werte nicht flächig vorhanden sind, wurde mit einem Konstanten «discharge factor» von 0.461 gerechnet. Dies entspricht dem gewichteten Mittel der jeweiligen «discharge factors» (0.37, 0.51 und 0.58) mit Bodenanteilen von 45% Sand, 35% Schluff und 20% Ton.

Zeitlicher Anteil der feuchten Baumkrone

Der zeitliche Anteil der feuchten Baumkrone W_f wird neu nach der folgenden Formel berechnet:

$$W_f = \frac{E_i}{ETP}$$

In Remund et al. (2016) wurde anstellen der Interzeption E_i die Regenmenge verwendet, was an Tagen mit leichtem Regen und starker Verdunstung zu einem unrealistisch starken Anstieg von «etapC» geführt hat.

5.2 Vergleich zwischen simpler und komplexer Version von ETA/ETP

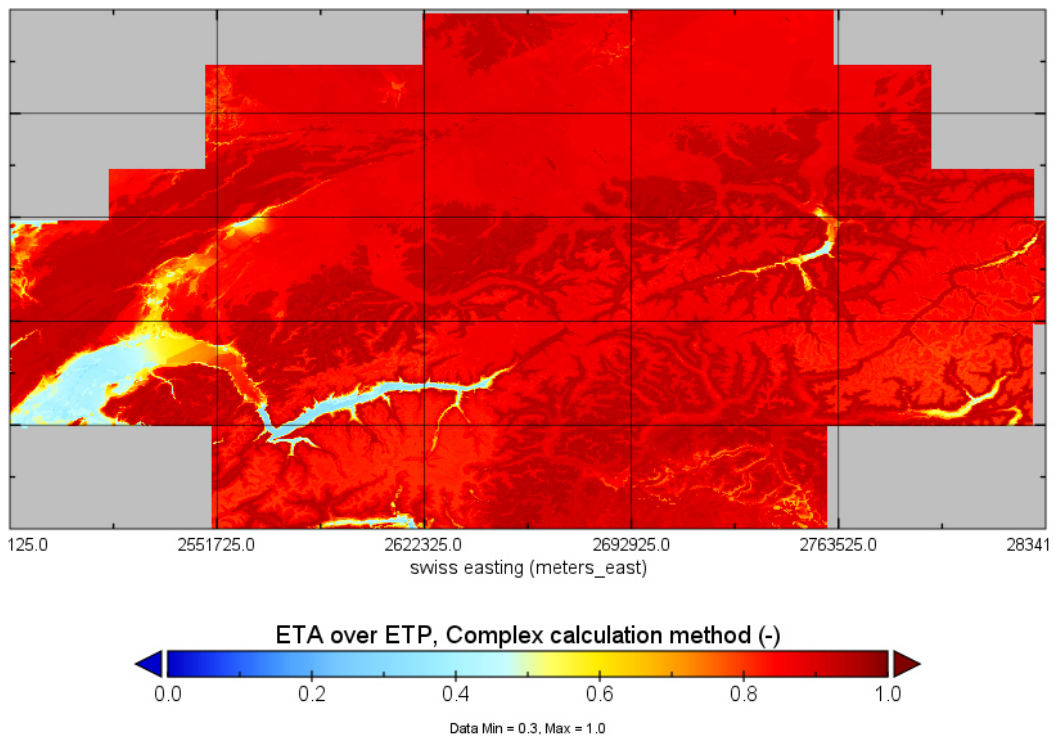


Abbildung 9: Jahresmittel 2009 der komplexen Version von ETA/ETP. Im Vergleich zur simplen Version von ETA/ETP (Abbildung 8) sind die Werte generell etwas tiefer, was besonders im Wallis, in der Genferseeregion, sowie im Rheintal südlich von Sargans auffällt.

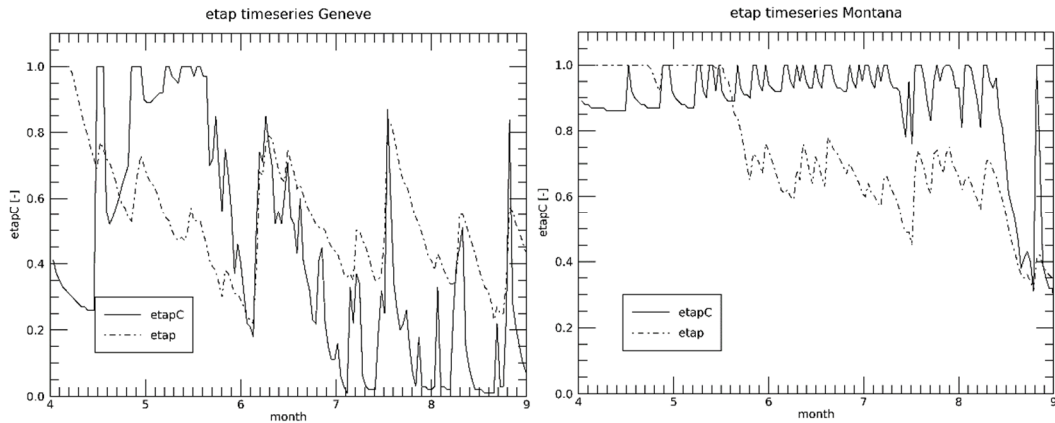


Abbildung 10: Vergleich der beiden Versionen von ETA/ETP in Genf (links) und Crans-Montana (rechts). Gezeigt sind die Tageswerte der Monate April bis August 2009 der komplexen (etapC, durchgezogen) und simplen Version (etap, gestrichelt) von ETA/ETP als Zeitreihe.

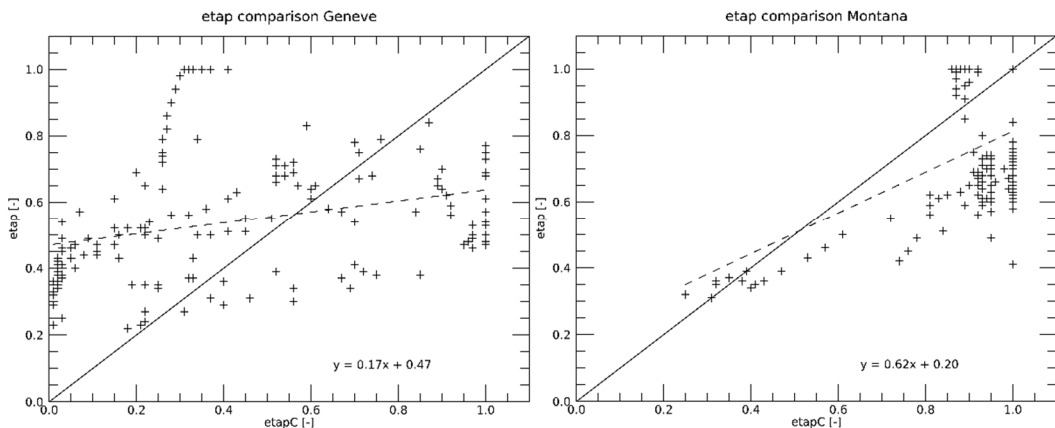


Abbildung 11: Vergleich der beiden Versionen von ETA/ETP in Genf (links) und Crans-Montana (rechts). Gezeigt sind die Tageswerte der Monate April bis August 2009 der komplexen (etapC, x-Achse) und simplen Version (etap, y-Achse) von ETA/ETP.

Der Hauptunterschied zwischen den beiden Versionen von ETA/ETP ist die Abhängigkeit vom Bodenspeicher. Während die simple Version ausschliesslich vom Bodenspeicher abhängt und nur unter 1 fällt, sobald dieser weniger als 60% voll ist, hängt die komplexe Version von vielen weiteren Grössen wie der Anzahl Tage seit dem letzten Regen oder der Art und Dichte der Belaubung ab. Durch diese Unterschiede in der Abhängigkeit ist die komplexe ETA/ETP generell variabler und zeigt auch mehr kurzfristige Schwankungen, was anhand der Zeitreihen in Abbildung 10 gut zu sehen ist. «etapC» fällt schon am Tag nach dem letzten Niederschlag leicht unter 1, was in Crans-Montana (rechts) sehr deutlich zu sehen ist. Aufgrund der schwachen aber häufigen Niederschläge (nicht direkt gezeigt, aber an den Ausschlägen zurück auf «etapC» = 1 zu sehen), fällt «etapC» lange nicht unter 0.9. Erst während zwei längeren Trockenheitsphasen Mitte Juli und Ende August sinkt «etapC» auf tiefere Werte. Die simple ETA/ETP bleibt indes lange bei

1 und fällt dann aufgrund des austrocknenden Bodens nachhaltig auf Werte um 0.6.

In Genf (Abbildung 10 links) fällt der Bodenwasserspeicher bereits Anfang April unter 60%. Die simple ETA/ETP bleibt während der ganzen Vegetationsperiode tief und erholt sich nur bei stärkeren Niederschlägen. «etapC» ist im Mai noch hoch, sinkt dann aber schnell auf das gleiche Niveau und darunter. Niederschläge führen nur zu kurzzeitigen Erholungen. Die tiefen Werte und starken Ausschläge von «etapC» im April entstehen, weil die Belaubung noch nicht vollständig ausgebildet ist und die Verdunstung im Wesentlichen von der Bodenverdunstung abhängt, welche bei Trockenheit sehr schnell ab- und bei Niederschlag zunimmt.

Die stärkeren Schwankungen von «etapC» im Vergleich zur simplen Variante von ETA/ETP zeigt sich auch in Abbildung 11 anhand der flachen Regressionsgeraden.

«etapC» ist dank der Berücksichtigung von zusätzlichen Parametern zwar genauer, unterliegt aber auch grösseren Schwankungen. Einzelne Zeitpunkte sind mit «etapC» besser abgebildet, da kurzfristige Effekte eine Rolle spielen. Für saisonale Betrachtungen wird aus Konsistenzgründen weiterhin die Verwendung der simplen ETA/ETP empfohlen.

6 Aufbau der netCDF Dateien

Dateiname

smn_ip_*[param]*_*[yyyy]*_*[mm]*_*[opt]*ch.nc

[param] Parameter (z.B. tas)
[yyyy] Jahr
[mm] Monat (optional)
[opt] Optionaler Teil:
 Monatsdaten: *[opt]* = month_
 Jahresdaten: *[opt]* = year und *[mm]* fällt weg

Beispiele:

smn_ip_tas_2015_02_month_ch.nc

smn_ip_etap_2009_year_ch.nc

Aufbau

Variable	Erläuterung
tas/pr/swb,...	Meteo-/Trockenstressparameter
time	Zeitachse (Tage seit dem 01.01.1981)
chx	x-Koordinaten in m (CH1903+)
chy	y-Koordinaten in m (CH1903+)
lat	x-Koordinaten in Grad (lat/lon)
lon	y-Koordinaten in Grad (lat/lon)
swiss_coordinates	Koordinateninfos für GIS

7 Zugriff auf die Daten

Sämtliche historischen und zukünftigen netCDF Dateien sind auf einem FTP-Server abgelegt. Im Folgenden werden die gängigsten Zugriffsarten, sowie die Dateistruktur kurz erläutert

7.1 Dateistruktur

Auf dem Server liegt der Ordner `resultate/`, in welchem sich die Unterordner `hist/` für historische Daten und `future/` für Zukunftsdaten liegen. Die netCDF-Dateien liegen im jeweiligen Unterordner `netcdf/`. Darin befindet sich für jeden Parameter ein weiterer Unterordner, in welchem die einzelnen netCDFs liegen. Im Ordner `netcdf/` liegen zusätzlich die Ordner `averages/` mit Mehrjahresmitteln und `anomalies/` mit Unterschieden zwischen verschiedenen Mehrjahresmitteln.

Ein Beispielpfad lautet:

```
resultate/hist/netcdf/tasmin/smn_ip_tasmin_2011_02_ch.nc
```

7.2 Zugriffsarten

Sämtliche Zugriffsarten verwenden den Usernamen **u276266-sub2**. Der Servername ist entweder **srv010.meteotest.ch** oder **u276266-sub2.your-storage-box.de**. Das Passwort kann auf Anfrage bei jan.remund@meteotest.ch bezogen werden.

FTP/SFTP

Am einfachsten mit einem FTP-Client wie z.B: WinSCP.

Server: `srv010.meteotest.ch`

Port: 22

rsync

```
rsync -rlvt -e 'ssh -p23' u276266-sub2@srv010.meteotest.ch:resultate/REMOTE_PFAD LOKALER_PFAD
```

Wenn `LOKALER_PFAD` weggelassen wird, werden die Dateien in `REMOTE_PFAD` aufgelistet.

WebDAV

Server: `u276266-sub2.your-storagebox.de`

Port: 80

8 Referenzen

Monteith, J.L., 1965. Evaporation and environment. Symp. Soc. Exp. Biol. 19, 205-224

Braun, S., Remund, J., Rihm, B. 2015. Indikatoren zur Schätzung des Trockenheitsrisikos in Buchen- und Fichtenwäldern. Schweiz Z Forstwes 166: 361–371. doi: 10.3188/szf.2015.0361

Breda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. Ann. For. Sci. 63: 625–644.
<http://dx.doi.org/10.1051/forest:2006042>

Arbeitskreis Standortkartierung 2003. Forstliche Standortaufnahme - Begriffe, Definitionen, Kennzeichnungen, Erläuterungen. 6. Auflage. IHW-Verlag, Eching.

Remund, J. und Augustin, S. 2015. Zustand und Entwicklung der Trockenheit in Schweizer Wäldern. Schweiz Z Forstwes 166: 352–360. DOI: 10.3188/szf.2015.0352

Remund, J., von Arx, G., Gallien, L., Rebetez, M., Huber, B., & Zimmermann, N. E., 2016a. Klimawandel in der Schweiz – Entwicklung walddrelevanter Klimagrößen. In A. Plüss, S. Augustin, & P. Brang (Eds.), Wald im Klimawandel (pp. 23–27). Haupt.

Remund, J., Frehner, M., Walthert, L., Kägi M., Rihm B., 2011. Schätzung standortspezifischer Trockenstressrisiken in Schweizer Wäldern. Schlussbericht / Version 2.3. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL.
<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010693256>

Remund, J., Rihm, B. und Huguenin-Landl, B., 2016b. Klimadaten für die Waldmodellierung für das 20. und 21. Jahrhundert. Bern, Meteotest. 40 S.

Remund J. und B. Rihm, 2016c. Forschungsprogramm Wald und Klimawandel. Ergänzungen zum Projekt Trockenstress im Schweiz Wald. Birmensdorf, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL; Bundesamt für Umwelt. 22 Seiten.

<https://www.research-collection.ethz.ch/bitstream/handle/20.500.11850/155803/eth-49526-01.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Renger M., Bohne K., Facklam M., Harrach T., Riek W., Schäfer W., Wessolek G., Zacharias S. 2008. Ergebnisse und Vorschläge der DBG-Arbeitsgruppe „Kennwerte des Bodengefüges“ zur Schätzung bodenphysikalischer Kennwerte. 51 S. http://www.boden.tu-berlin.de/fileadmin/fg77/_pdf/publikationen/bodenphysikalischeKennwerte.pdf

Romanenko, V.A., 1961. Computation of the autumn soil moisture using a universal relationship for a large area. Proceedings, Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, No. 3 Kiev (1961)

Spellmann H. Albert M., Schmidt M., Sutmöller J., Overbeck M. 2011. Waldbauliche Anpassungsstrategien für veränderte Klimaverhältnisse. AFZ-Der Wald 11/2011: 19-23.