



Private digitale Temperaturmessung im Meteo-Gelände der Sternwarte St. Margarethen 4102 Binningen/BL

Teil 3

Robert Nufer

18. August 2018

Seit zehn Jahren darf ich die Lufttemperatur auf zwei Metern Höhe im Gelände der Sternwarte St. Margarethen digital messen. Als Dankeschön stelle ich hier eine Zusammenfassung dieser Messungen und einige Überlegungen dazu Interessierten vor.

Astronomische oder meteorologische Jahreszeiten?

In unseren geografischen Breiten teilen wir das Jahr in die vier Jahreszeiten Frühling, Sommer, Herbst und Winter ein. Im Sommer ist es heiss und im Winter ist es kalt – eine Binsenweisheit. Die Sonne steigt im (Nord-)Sommer höher über den Horizont und heizt damit den Boden länger auf.

An andern Orten der Erde ergibt diese Einteilung keinen Sinn. In den Tropen, wo die Sonne ihren Höchststand über das ganze Jahr mehr oder weniger im Zenit erreicht und Tage und Nächte immer zwölf Stunden dauern, sind Windrichtung und damit verbundene Regenmengen (Monsun) viel wichtiger. Dort spricht man deshalb eher von Trocken- und Regenzeit. Oder an den Polen, wo das Jahr eigentlich nur aus einem Tag und einer Nacht besteht. Tag ist am Nordpol die Zeit zwischen dem 20./21. März und dem 22./23. September, wenn die Sonne über dem Horizont steht, und Nacht ist die zwischen September und März, wenn die Sonne immer unter dem Horizont bleibt.

Klar ist, dass die Sonne – und damit die Position der Erde auf ihrem Umlauf um die Sonne - den Takt der Jahreszeiten angibt. Damit ist die Dauer eines Jahres die eigentliche Grösse, die es zu kennen gilt. Julius Caesar führte 45 v. Chr. einen Kalender ein, der das Jahr in 365 Tage teilte, wobei jedes vierte Jahr um einen Schalttag, dem 29. Febr. verlängert wurde. Mit der Verbreitung des Christentums wurden die Tage um Ostern in der westlichen Welt zu den wichtigsten Feiertagen im Frühling. Als Feiertag wurde der erste Sonntag nach der ersten Frühlingsvollmond bestimmt.

Nun dauert der Umlauf der Erde um die Sonne elf Minuten weniger lang als die 365.25 Tage des Julianischen Kalender. Als Folge davon hinkte dieser Kalender dem wahren Lauf der Sonne immer mehr nach, was bis ins sechzehnte Jahrhundert bereits zehn Tage ausmachte. Papst

Gregor XIII führte 1582 die nach ihm benannte und bis heute gültige Kalenderreform ein, indem er auf den 4. Oktober 1582 gleich den 15. Oktober folgen liess und durch Weglassen der Schalttage in den durch Hundert aber nicht durch Vierhundert teilbaren Jahren die Länge des kalendarischen Jahres auf 365.2425 Tage verkürzte. Mit dieser Korrektur wird es dreitausend Jahre dauern, bis sich der Fehler wieder auf einen ganzen Tag auswirkt haben wird.

Wird der scheinbare Lauf der Sonne zur Grundlage der Jahreszeiteinteilung genommen, können die Jahreszeiten sekundengenau himmelsmechanisch messbaren Ereignissen zugeordnet werden. Winteranfang ist dann, wenn die Sonne den südlichsten Punkt am Himmel über dem Wendekreis des Steinbocks erreicht. Bei Frühlings- und Herbstanfang überquert die Sonne den Äquator nord- resp. südwärts, und bei Sommeranfang erreicht die Sonne den höchsten Punkt am Himmel über dem Wendekreis des Krebses. Letzteres ist um den 21. Juni der Fall. Ab diesem Tag – dem Sommersolstitium - werden die Tage wieder kürzer. So sind die astronomischen Jahreszeiten definiert.

Ausserhalb dieser himmelsmechanisch präzisen Definition macht es für uns Menschen durchaus Sinn, die Jahreszeiten etwas anders zu definieren. Zum Beispiel so, dass die drei wärmsten Monate als Sommer, und die drei kältesten Monate als Winter definiert werden. Das sind die meteorologischen Jahreszeiten. Diese dauern jeweils drei ganze Kalendermonate: Frühling ist vom 1. März bis 31. Mai, Sommer ist vom 1. Juni bis 31. August, Herbst ist vom 1. September bis 30. November, und Winter ist vom 1. Dezember bis Ende Februar.

Dass diese etwas salopp erscheinende Definition durchaus sinnvoll ist, kann in Bild 1 auf den ersten Blick erkannt werden.

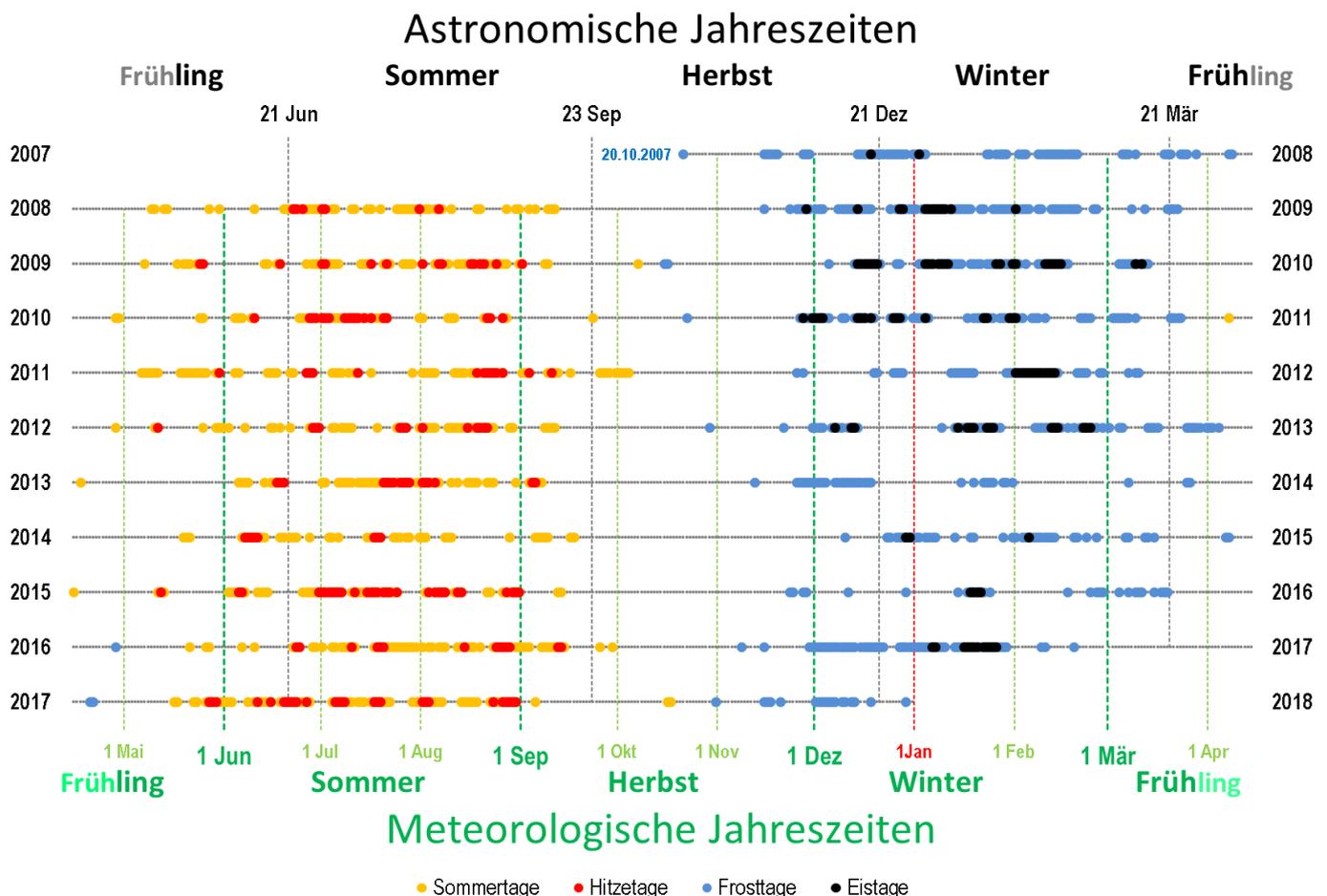


Bild 1
 Auftreten der Sommer-, Hitze-, Frost- und Eistage während der letzten zehn Jahre. Basierend auf den digital gemessenen Temperaturmessungen zwischen 2008 und 2017 im Gelände der Sternwarte Basel/Binningen.

Bild 1 zeigt das Auftreten von temperaturmässig besonderen Tagen. Sommertage sind Tage, an denen die Temperatur mindestens 25 °C erreicht. Hitzetage sind Tage, an denen die Temperatur mindestens 30 °C erreicht. Frosttage sind Tage, an denen die Temperatur unter 0 °C fällt. Eistage sind Tage, an denen die Temperatur nicht über 0 °C steigt.

Diese Tage können natürlich einfach aus den digitalen Messungen herausgefiltert und dargestellt werden. Bild 1 zeigt sie als farbige Punkte auf je einer Reihe pro Jahr. Damit diese „Farbwolken“ nicht an den Seiten zerschnitten und damit unübersichtlich werden, beginnen und enden die Zeilen Mitte April.

Die Einteilung der meteorologischen Jahreszeiten (grüne vertikale gestrichelten Linien) umschliesst die heissen Sommer- und kalten Wintertage viel besser als die astronomischen (grauen vertikalen gestrichelten Linien).

In Bild 1 ist sehr gut zu erkennen, dass die wärmsten Tage erst etwa einen Monat nach dem astronomischen Sommeranfang auftreten, wenn die Sonne bereits wieder weniger lang am Himmel steht. Die Bodentemperatur reagiert mit einer gewissen Trägheit auf die Energieeinstrahlung der Sonne. Dass dieser Effekt auch innerhalb jedes Tages auftritt, wurde bereits mit dem Thermo-Isoplethen-Diagramm im Teil 2 gezeigt.

Mir ist aufgefallen, dass...

Wie schnell sich die Erdoberfläche, und damit die unterste Luftschicht, in der die Lufttemperatur gemessen wird, an einer bestimmten Stelle unter den gegebenen natürlichen Bedingungen erwärmen oder abkühlen kann, hängt vor allem von der Beschaffenheit des Bodens ab. Besonders interessant ist dieser Effekt bei Sonnenfinsternissen, wenn während des Tages ein Teil der einfallenden Sonnenstrahlung durch den Mond „verdeckt“ und damit abgeschirmt wird.

Auf der Jagd nach Rekorden finden sich dann im Internet Sprüche wie „Die Temperatur fiel um 9 °C...“ Dabei fehlen während einer typischen totalen oder ringförmigen Sonnenfinsternis das Licht und die Energie von etwa einer Stunde Sonnenschein. Wenn dadurch die Temperatur um 9 °C fallen soll, frage ich mich, wie kalt es am nächsten Morgen gewesen sein wird, nachdem die Sonne zwölf Stunden unter dem Horizont verschwunden war.

Ich habe deshalb die digitalen Temperaturmessungen etwas unter die Lupe genommen. Damit will ich zeigen, wie schnell sich die Temperatur auf dem Gelände der Sternwarte typischerweise ändern kann. Natürlich geht es hier nicht um extreme Temperaturstürze wie beim Eintreffen einer Kaltfront, sondern nur um die Geschwindigkeit von Temperaturänderungen in Abhängigkeit des Sonnenstandes bei schönem stabilem Wetter, möglichst über mehrere Tage.

In Bild 2 ist die Temperaturmessung einer typischen Februarwoche im Jahr 2017 gezeigt. An schönen sonnigen Tagen wie in der Mitte des Zeitfensters ist der charakteristische Temperaturverlauf (schwarze Kurve) gut abzulesen. Die Temperatur sinkt in der Nacht zuerst schnell, dann immer etwas langsamer ab, da keine Sonnenenergie hier ankommt. Kaum geht die Sonne auf - das ist der Übergang zum gelb unterlegten Hintergrund - kommt die Abkühlung zum Stoppen und die sich erwärmende Erde lässt die Lufttemperatur auf zwei Metern Höhe ansteigen. Das Temperaturmaximum – das Gleichgewicht zwischen der vom Boden absorbierten und wieder abgestrahlten Energie wird erst im Laufe des Nachmittages erreicht. Ab dann verläuft die Abkühlung der Luft in einer Art exponentieller Kurve bis zum Sonnenaufgang des nächsten Tages.

Noch klarer kann dieser qualitative Temperaturverlauf während dem August des gleichen Jahres (2017) in Bild 3 abgelesen werden.

Es sei hier vermerkt, dass die Auswahl der gezeigten Wochen beliebig gewählt ist. So ähnlich sehen alle Schönwettertage der letzten zehn Jahr aus, unabhängig von der Jahreszeit!

Lufttemperatur und deren stündliche Variation im Februar 2017

Sternwarte, 4102 Binningen

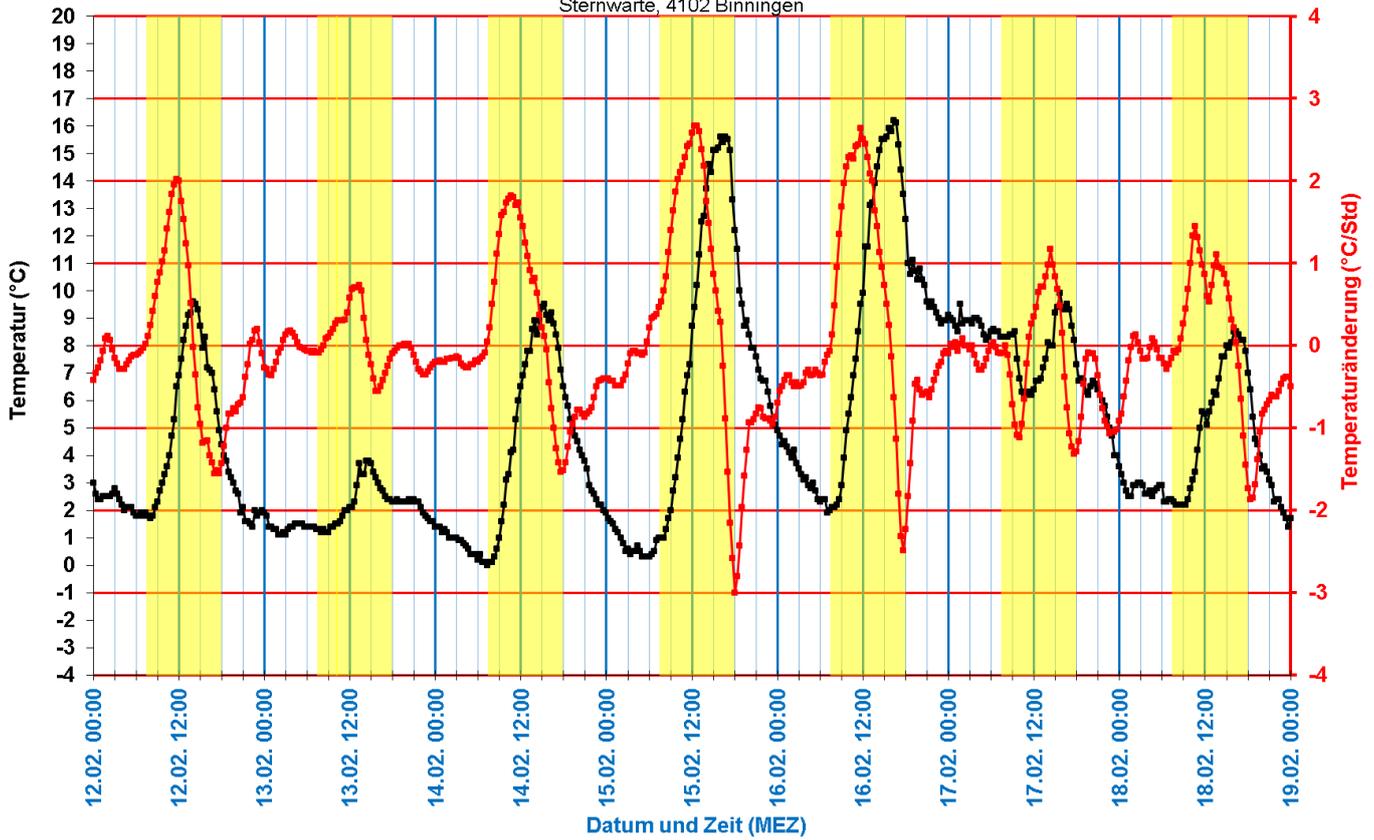


Bild 2

Lufttemperatur (schwarz) und deren stündliche Änderung (rot) während einer Woche im Februar 2017.

Lufttemperatur und deren stündliche Variation im August 2017

Sternwarte, 4102 Binningen

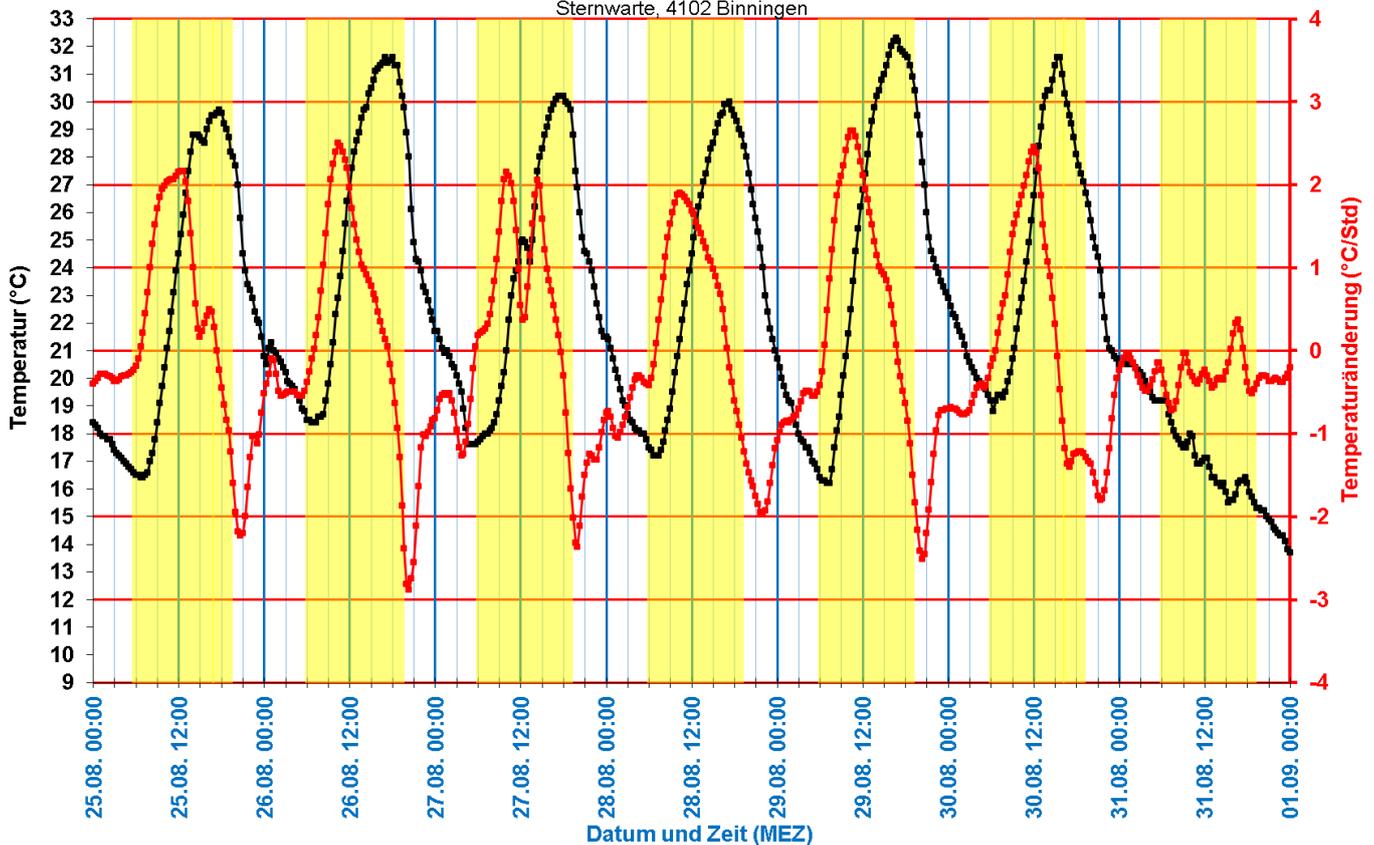


Bild 3

Lufttemperatur (schwarz) und deren stündliche Änderung (rot) während einer Woche im August 2017.

Um zu zeigen, wie schnell sich die Lufttemperatur an unserem Standort typischerweise ändert – resp. ändern kann – habe ich die stündliche Änderungsrate aus den 20-Minuten-Messpunkten berechnet und als rote Kurve in Bild 2 und Bild 3 eingezeichnet. Und siehe da: Nie kühlt sich die Luft schneller als mit 3 °C/Stunde ab. Geschweige denn 9 °C während einer Sonnenfinsternis, wo ja etwa eine Stunde Sonnenenergie fehlt.

Was auffällt und mich stutzig gemacht hat ist die Tatsache, dass die grössten Abkühlraten (2-3 °C/Stunde), also die roten Ausschläge nach unten, ausnahmslos um den Sonnenuntergang gemessen werden.

Als Ursache interpretiere ich das so, dass sich die Wetterhäuschen tagsüber doch etwas erhitzen, auch wenn sie weiss gestrichen sind und die Luft im Innern praktisch frei zirkulieren kann. Etwa eine bis zwei Stunden vor Sonnenuntergang werfen die Bäume zwischen dem ehemaligen Astronomischen Institut und dem Pavillon ihren Schatten ins Gelände und auf die nördliche Wetterhütte, wie in Bild 4 zu sehen ist. Zum Zeitpunkt der Aufnahme stand die Sonne zehn Grad über dem Horizont. Diese zehn Grad können auch am Schattenwurf der „Strassenlampe“ vor dem ehemaligen Pilzhüttli auf die Seitenwand des neuen Rolldachs rechts im Bild 4 gesehen werden. Der Effekt ist gegen Osten am Morgen weniger ausgeprägt, möglicherweise weil die dort Schatten werfenden Bäume im Park der Kunsteisbahn etwas weiter entfernt und lichter sind.

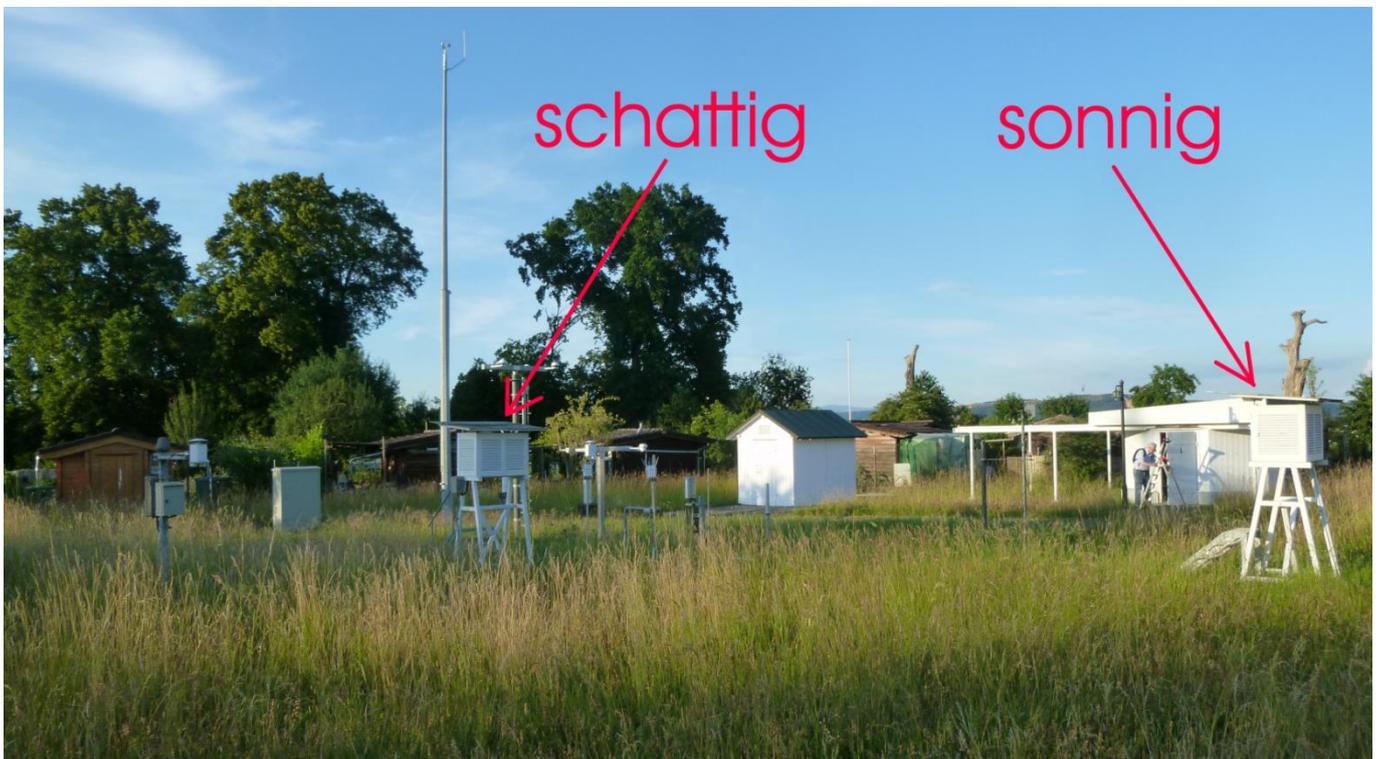


Bild 4

Teilansicht des meteorologischen Messfeldes am 13. Juni 2014 20:19:26 MESZ, etwa eine Stunde vor Sonnenuntergang. Die nördliche Wetterhütte (links im Bild) ist dann bereits im Schatten eines grossen Baumes, während die südlichere Hütte seitlich noch von der Sonne beschienen wird.

Ein weiteres Experiment könnte helfen...

Als Laie habe ich mir die Frage gestellt, ob der Temperaturabfall vor Sonnenuntergang bei schönem Wetter daher rührt, dass sich im Innern der Wetterhütte doch ein gewisser Temperaturstau bildet, der, sobald die Hütte durch die hohen Bäume in der Nähe beschattet wird, verschwindet, oder ob der Schattenwurf ins Messgelände vor Sonnenuntergang zu diesem relativ raschen Temperaturabfall führt. Im ersten Fall wäre es kein gutes Zeugnis für die Messmethode, im andern Fall wäre die Messung zwar optimal, und wir müssen damit leben, dass das Messgelände nach Sonnenauf- und vor Sonnenuntergang im Schatten hoher Bäume liegt. Aber

auch dann sei die Frage erlaubt, wieviel Wald darf es denn sein, in dem die Messgeräte stehen?

In [2] stehen u. a. folgende Anforderungen an die Beschaffenheit eines Messfeldes:

... Mit Ausnahme der Sonnenauf- bzw. -untergangszeiten (hier Beschattung bis ca. 1 Stunde zulässig) soll das Messfeld überwiegend von der Sonne beschienen werden...

... Für eine unbeeinträchtigte Messung der meteorologischen Parameter müssen Hindernisse (Bauwerke, Bäume) mindestens das 10-fache ihrer Höhe von der Messfeldgrenze entfernt sein...

Am 26./ 27.Mai 2018 und am 20./21. Juni 2018 habe ich je zwei Messgeräte (Testostor 171) für ein Messintervall von 10 Sekunden über zwei Tage programmiert. Einen Sensor habe ich an die östliche Aussenwand der nördlichen Wetterhütte auf zwei Metern Höhe aufgehängt, den anderen auf gleicher Höhe, aber in der Wetterhütte.

Zwischen den beiden Experimenten habe ich am Freitag, dem 1. Juni 2018 den Schattenwurf vor Sonnenuntergang fotografisch dokumentieren können, weil sich an dem Tag im Westen keine Wolken bildeten.

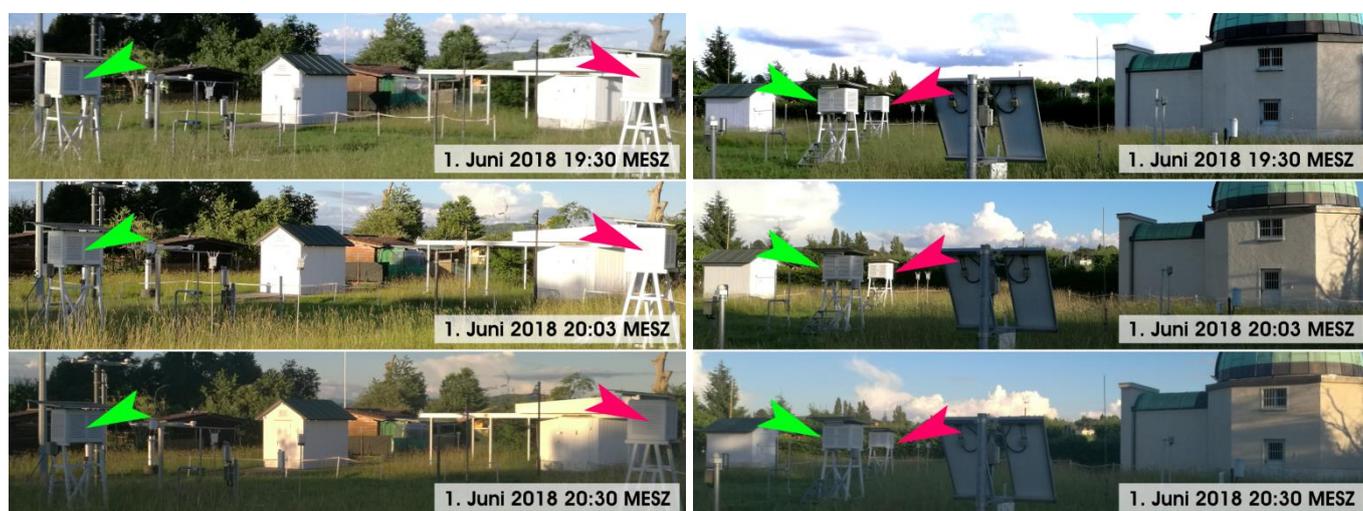


Bild 5

Ansicht des meteorologischen Messfeldes am 1. Juni 2018 zu verschiedenen Zeiten vor Sonnenuntergang. Aufnahmestandort bei der linken Serie ist vor dem Kuppelgebäude; bei der rechten Serie auf dem geteerten Weg beim Lysimeter. Sonnenuntergang ist um 21:15 MESZ, also nochmals fünfundvierzig Minuten später als zum Zeitpunkt der untersten Aufnahme. Um 19:30 MESZ sind noch beide Wetterhütten im Sonnenlicht. Um 20:03 MESZ ist die nördliche Hütte (grüner Pfeil) im Schatten, und um 20:30 MESZ liegt das ganze innere Messfeld im Schatten.

Diese speziellen Messungen am 26./27. Mai 2018 und 20./21. Juni 2018 sehen qualitativ etwa gleich aus. Ich beschränke mich für die Diskussion deshalb auf die letztere, weil sie gleich noch den Unterschied zwischen einem sonnigen Tag (20. Juni 2018) und einem Tag mit Bewölkung (21. Juni 2018) aufzeigt.

In den Meteo-Daten [1] vom Juni 2018 wurden für die beiden Tage unter anderem folgende Werte publiziert:

		20. Juni 2018	21. Juni 2018
Tageshöchsttemperatur	(°C)	30.3	27.9
Bewölkung	(%)	7	70
Sonnenscheindauer	(h)	14.8	10.4
Wind (mittel)	(m/s)	1.5	2.4
Wind (max)	(m/s)	19	40
Globalstrahlung	(Wh/m ²)	8539	7501

Am 21. Juni 2018 war es also deutlich wolkiger, etwas kühler und etwas windiger als am Vortag. In Bild 6 ist der Temperaturverlauf an den beiden Tagen gezeigt. Besonders interessant ist natürlich der 20. Juni 2018, weil an diesem sonnigen Tag der „reine“ Effekt der Beschattung besonders gut abzulesen ist.

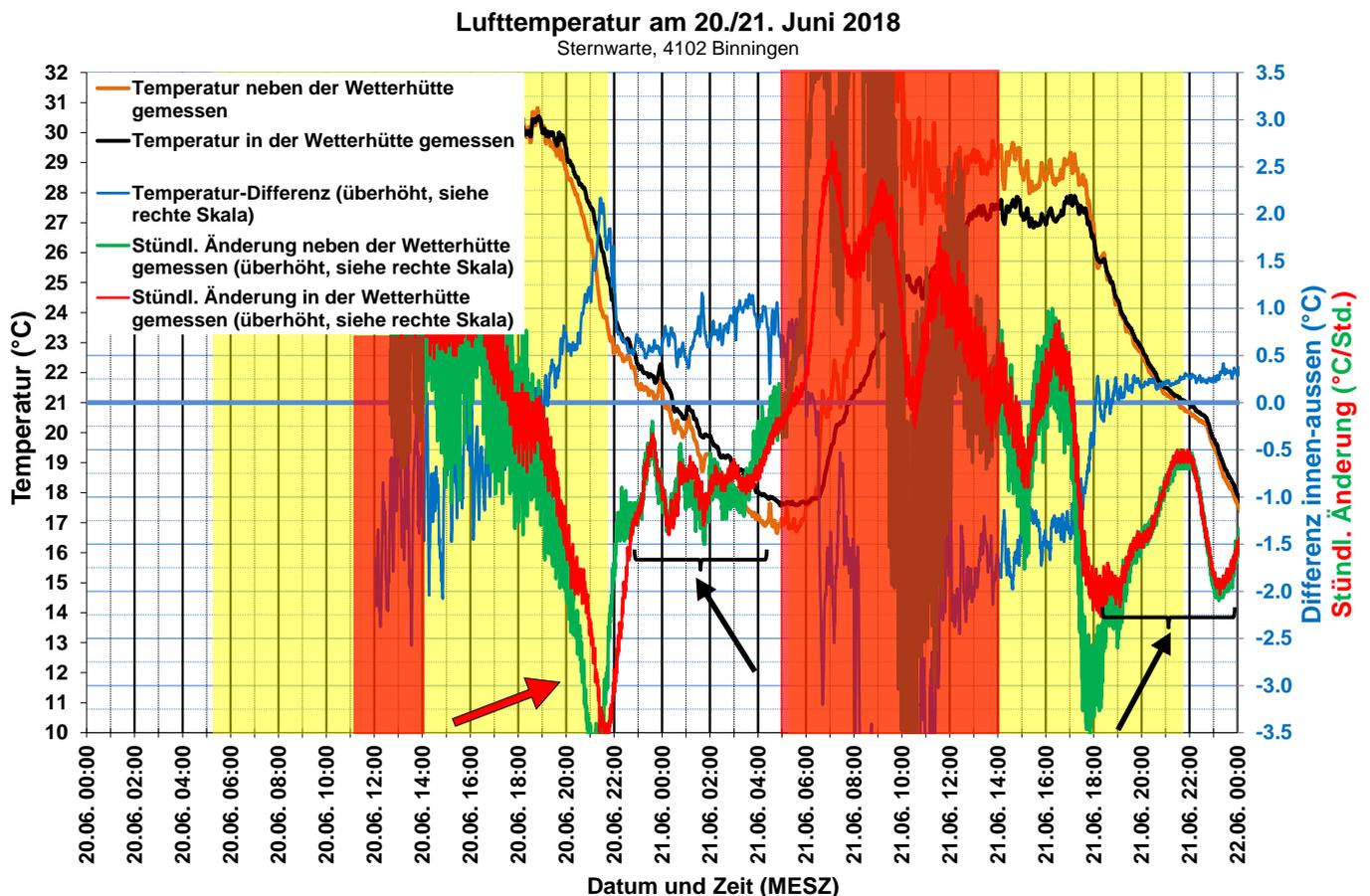


Bild 6

Verlauf der gemessenen Temperaturen am 20. /21. Juni 2018 in und neben der nördlichen Wetterhütte. Während der gelb unterlegten Zeiten steht die Sonne über dem Horizont.

Der folgenden Diskussion liegen die Temperaturmessungen in Bild 6 zu Grunde. Da die eine Sonde an der östlichen Aussenwand der Wetterhütte montiert war, wo sie morgens und mittags der direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt war, sind deren Messwerte für diese Zeiträume ungültig und deshalb mit einer roten Fläche abgedeckt.

Die Temperaturen wurden alle zehn Sekunden gemessen, aber für die Darstellung der schwarzen und braunen Kurve wurden gleitende Vier-Minuten-Mittel verwendet.

Die schwarze Kurve zeigt die Temperaturmessung in der nördlichen Wetterhütte ab dem sonnigen Nachmittag des 20. Juni 2018, dem mehrheitlich bewölkten 21. Juni und bis um Mitternacht danach. (Etwa um 23:00 MESZ erreichte eine Kaltfront Basel und die Temperatur erreichte am nächsten Tag, dem 22. Juni 2018 gemäss Meteo-Daten [1] nur noch 19.9 °C.)

Die braune Kurve zeigt die Temperaturmessung an der östlichen Aussenwand der nördlichen Wetterhütte. Kleine Ausschläge im Temperaturverlauf bestätigen die perfekte Synchronisation der internen Uhren beider Sensoren.

Abgesehen davon, dass sich die beiden Messungen nicht perfekt decken, kann aus dem Vergleich der beiden Kurven der Effekt einer leichten Temperatur-Dämpfung in der Wetterhütte abgelesen werden: Am 21. Juni 2018 zwischen 14:00 und 18:00 MESZ ist die braune Kurve der Aussenmessung zwar ein Grad höher, aber der Verlauf beider Kurven ist identisch, ausser dass die Ausschläge der braunen Kurve jeweils etwas grösser sind. Besonders deutlich ist diese leichte Dämpfung kurz nach 18:00 MESZ zu erkennen.

Mit der roten und grünen Kurve wird die stündliche Temperaturänderung beider Messgeräte gezeigt. Weil die Messgeräte „nur“ eine Auflösung von 0.1 °C haben, sind die Daten etwas geglättet:

$$\text{Wert}_t = (\text{Temp}_{t+20 \text{ min}} - \text{Temp}_{t-40 \text{ min}}) + (\text{Temp}_{t+30 \text{ min}} - \text{Temp}_{t-30 \text{ min}}) + (\text{Temp}_{t+40 \text{ min}} - \text{Temp}_{t-20 \text{ min}}) / 3.$$

Solange die Sonne nicht scheint, also in der Nacht vom 20. auf den 21. Juni 2018 und etwa ab 18:00 MESZ am 21. Juni 2018, reagieren die Temperaturmessungen ausserhalb und innerhalb der Wetterhütte praktisch identisch. Das sind die mit geschweiften Klammern markierten Bereiche. Man bedenke, dass die für diese Kurven gültige rechte Änderungs-Skala im Vergleich zur linken Temperaturskala etwa siebenfach überhöht ist.

Der markanteste Unterschied zwischen den beiden Messungen zeigt sich in der zeitlichen Verzögerung der Abkühlrate am sonnigen Tag, dem 20. Juni 2018 ab etwa 20:00 MESZ (roter Pfeil). Ich interpretiere das so, dass ab diesem Moment die Wetterhütte, in der sich der eine Sensor befindet, dem an der östlichen Aussenseite montierten Sensor perfekten Schatten bietet und dort die Temperatur entsprechend früher abfällt. Kurzfristig ist die im Innern gemessene Temperatur etwa um 2 °C höher (blaue Kurve). Die Geschwindigkeit der Temperaturänderung ist aber innen und aussen identisch: Sowohl die aussen als auch die innen gemessenen Änderungsraten fallen mit gleicher Geschwindigkeit auf -3.5 °C/Std., um sich einer Stunde und während der Nacht um -1 °C/Std. einzupendeln. Während der folgenden Nacht kühlt die Temperatur innen und aussen etwa gleichmässig ab, aber die in der Wetterhütte gemessene Temperatur ist konstant etwa 0.75 °C höher. Ein ähnlicher Effekt zeigt sich am 21. Juni 2018, aber dort ist der Temperaturunterschied nur etwa 0.25 °C. Somit ist kein relevanter Temperaturstau in der Wetterhütte festzustellen.

Warum die Temperatur über Nacht an beiden Tagen innerhalb der Wetterhütte leicht höher ist als draussen, bleibt unklar. Da dürften u. a. Wind, Luftdruck und Luftfeuchtigkeit mitspielen.

Und zum Schluss nochmals eine Vermutung zum allgemeinen Schönwetter-Temperaturverlauf, wie er in Bild 2 und Bild 3 gezeigt ist. Ohne die Beschattung vor Sonnenuntergang ist der stündliche Temperatur nie höher als 2 °C/Std. Aber warum ist ein umgekehrter Effekt am Morgen nicht zu sehen? Eine mögliche Erklärung könnte die morgendliche Feuchtigkeit des Bodens sein. Sobald die Sonne aufgeht, wird ein Teil der Energie für das Trocknen der Feuchtigkeit gebraucht, bevor sich der dann trockene Untergrund erwärmt.

Das war der dritte und (vorerst) letzte Teil meiner Gedanken zu den Temperaturmessungen der letzten zehn Jahre. Sicher sind einige Fragen offen geblieben, und vielleicht habe ich mich ja auch bei der einen oder anderen Interpretation geirrt. Aber für mich als Laie war es interessant, mich mit diesem spannenden und lehrreichen Gebiet der Naturbeobachtung zu befassen.

Für weitere Diskussionen zu diesem Thema bin ich natürlich gerne bereit.

Quellenangaben

- [1] Meteorologischer Verein der Region Basel,
Internet: <https://klimabasel.ch>
- [2] Deutscher Wetterdienst,
Vorschriften und Betriebsunterlagen Nr. 3, (VuB 3), BEOBACHTERHANDBUCH (BHB) für
Wettermeldestellen des synoptisch-klimatologischen Mess- und Beobachtungsnetzes
Internet: <https://docplayer.org/29521456-Deutscher-wetterdienst.html>