

Beobachtungen zu Witterung und Phänologie der Großpilze

© Dr.-Ing. Dieter Rudolf 2019

1. Zusammenfassung.....	3	6.4.1. Entwicklungsmuster	12
2. Summary.....	3	6.4.2. Fruktifikationspotenzial	13
3. Witterung vs. Kalender	4	6.4.3. Ausblick: Isolinien im TF-Diagramm.....	15
4. Was wissen Pilze vom Wetter?.....	5	7. Clusterung des Witterungsverlaufs des Jahres 2017.....	16
5. Modellannahmen	6	8. Fallbeispiel: <i>Morchella esculenta</i> 2017 und 2018	20
6. Darstellung des Modellraums.....	8	9. Glossar	22
6.1. Zeitfunktionen	8	10. Verzeichnis der Abbildungen.....	23
6.2. Bodentemperatur-Bodenfeuchte-(TF)-Diagramm	10	11. Verzeichnis der Tabellen.....	23
6.3. Witterungsverlauf – Cluster und Transitionen	11	12. Quellen	24
6.4. Das Myzel braucht Zeit	12		

1. Zusammenfassung

Das Erscheinen der Fruchtkörper von Großpilzen richtet sich nicht nach dem Kalender, sondern nach dem Witterungsverlauf. Es wird vom eigentlichen Pilz, dem Myzel gesteuert, dessen Möglichkeiten Wetter und Witterungsverlauf zu empfinden recht eingeschränkt sind.

Von den Witterungsfaktoren haben nur die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte des umgebenden Substrats direkten Einfluss auf das Myzel. Daraus lassen sich Gradienten der Veränderung der Witterungslage ableiten. Nicht zu unterschätzen sind auch Einflüsse, die von Symbionten übertragen werden.

Dem Erscheinen der Fruchtkörper gehen der Aufbau von Fruktifikationspotenzial und die Ausbildung von Primordien voraus. Jede Phase dieses Entwicklungsmusters erfordert optimale Temperatur-Feuchte-Bedingungen.

Der Witterungsverlauf besteht aus einer Folge stabiler Witterungslagen und mehr oder weniger schnellen Übergängen. Mittels einer für die detaillierte Betrachtung von Witterungsverläufen entwickelten Methode der Clusteranalyse werden stabile Wetterlagen (Witterungscluster) und die Übergänge (Transitionen) identifiziert.

Die Cluster im Vorfeld außergewöhnlicher Fruktifikationsereignisse ermöglichen Rückschlüsse auf die optimalen Bedingungen für den Aufbau von Fruktifikationspotenzial, die Anlage von Primordien und das Erscheinen der Fruchtkörper.

Ein Fallbeispiel „*Morchella esculenta* in den Jahren 2017 und 2018“ illustriert die Überlegungen.

2. Summary

Fruiting of mushrooms does not depend on calendar but on weather conditions. It is controlled by the real fungus, the mycelium, which has limited possibilities to feel weather conditions.

Only soil temperature and soil moisture of the surrounding substrate have direct impact on the mycelium. Eventually derived gradients of weather changes. Not to forget information transmitted by symbionts.

Before mushrooms appear, fruiting capability is to be cumulated and primordia have to be developed. Every step of this development pattern requires optimal temperature-moisture-conditions.

Weather changes over time consist of phases with relatively stable conditions (clusters) and more or less fast transitions between them. A special method of cluster analysis has been developed to identify weather clusters and transitions.

Clusters in the run-up to extreme fruiting events can be used to identify optimal conditions for increasing the fruiting capability of mycelium, development of primordia and production of fruiting bodies.

A case example “*Morchella esculenta* in 2017 and 2018” illustrates the considerations.

3. Witterung vs. Kalender

Die Frage nach den Ursachen für das Erscheinen oder Ausbleiben der Fruchtkörper bestimmter Arten in seinem Revier beschäftigt früher oder später jeden Pilzfreund. Auch beobachtet er immer wieder das sporadische Erscheinen seltener Arten oder auch das Erscheinen gewöhnlicher Arten zu ungewöhnlichen Zeiten. Die Vermutung das Wettergeschehen sei schuld liegt nahe, da alle anderen ökologischen Voraussetzungen an wohlbekannten Fundorten gegeben sind. Dabei kann es sich sowohl um Witterungslagen (stabiles Wetter über einen bestimmten Zeitraum) als auch um Wetterereignisse (kurzzeitige und vorübergehende Wetteränderungen, z.B. extremer Niederschlag, Unterschreitung einer bestimmten Temperatur) handeln.

In der Literatur findet man eine Reihe von Versuchen, die Beziehung zwischen Pilzaspekten und meteorologischen Elementen herauszufinden. Gebräuchliche Elemente sind minimale und maxi-

male Tagestemperatur, Niederschlagsmenge und relative Luftfeuchtigkeit (Müller & Gerhardt, 1995). (Halbwachs H. , 2009 ff) bezog Bodentemperatur und Bodenfeuchte ein. (Richter, Klima und Pilze, Teil 2, 2006) arbeitet mit einer aus Niederschlägen abgeleiteten Bodendurchfeuchtung.

„Der Mykologe ist primär immer auf die Aufnahme von Einzelaspekten angewiesen“ (Höfler, Über Pilzsoziologie, 1955). So wurden Maximalaspekte bestimmter Arten zum Teil zu ungewöhnlichen Zeiten beobachtet und beschrieben (Friedrich, 1940) (Denker, 1975).

Nach (Wilkins & Harris, 1946) wären die meisten Pilze dazu in der Lage, zu jeder Jahreszeit zu fruktifizieren, wenn die erforderlichen klimatischen Bedingungen gegeben wären (zitiert nach (Müller & Gerhardt, 1995)).

Pilze folgen der Witterung und nicht dem Kalender.

4. Was wissen Pilze vom Wetter?

Für Myzelien sind Lufttemperatur, Luftfeuchtigkeit, Niederschlagsmenge, Sonneneinstrahlung und Luftbewegung keine unmittelbar einwirkenden meteorologische Elemente.

Von den Witterungsfaktoren haben nur die Bodentemperatur und die Bodenfeuchte des umgebenden Substrats direkten Einfluss auf das Myzel bodenbewohnender Pilze. Aus den Gradienten der Änderungen dieser beiden Elemente kann es außerdem ableiten, in welche Richtung und wie schnell sich die Witterung ändert.

Das trifft auch auf totholzbewohnende Pilze zu, wobei Holztemperatur und Holzfeuchtigkeit in stärkerem Maße von der Lufttemperatur und der Luftfeuchtigkeit abhängen dürften, als bei den Bodenbewohnern.

In Mykorrhiza lebende Pilze müssen sich nicht mit dem Wasservorrat in der oberen Bodenschicht begnügen. Über ihren Wirt haben sie Zugriff auf tiefere Bodenschichten. Sie erkennen auch den Druck in der Wasserleitung.

Lebende Bäume bewohnende Myzelien kennen die Temperatur unter der Baumrinde oder im Holzinneren und die durch den Wirt verfügbare Wassermenge.

Mit den Bedingungen Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit müssen erst die Fruchtkörper zurechtkommen.

5. Modellannahmen

Die Modellannahmen betreffen die beeinflussenden meteorologischen Elemente, die Messwerterfassung und die Bewertung der beobachteten Fruktifikationsintensität.

Es wird angenommen, dass **Bodentemperatur und Bodenfeuchtigkeit in der oberen Bodenschicht** die entscheidenden meteorologischen Elemente für die vorliegenden Beobachtungen sind. Zusammen mit der Zeitachse ergibt sich eine Witterungsbetrachtung im dreidimensionalen Raum.

Eine Erweiterung um zusätzliche meteorologische Elemente ist problemlos möglich, erfordert jedoch deutlich höhere Rechenleistung für die entwickelten Algorithmen und kompliziert die graphische Darstellung der Ergebnisse.

Es wird angenommen, dass die Witterungsverhältnisse an den Fundorten im Revier zwar erheblich voneinander abweichen, jedoch in ihrer Tendenz mit **Messwerten einer reviernahen Messstelle** korrelieren.

Lokale Abweichungen der Bodentemperatur sind vor allem durch Sonneneinstrahlung, aber auch durch die Luftströmungen in Bodennähe bedingt.

Lokale Abweichungen der Bodenfeuchte sind durch unterschiedliche Niederschlagsmengen vor allem bei Gewitterlagen im Sommer, durch die Bodenverhältnisse des Untergrundes und durch den Bewuchs bedingt.

Akzeptiert man mangels Alternative diese Annahme, kann man auf

die agrarmeteorologischen Elemente des Deutschen Wetterdienstes zurückgreifen (DWD, 2019).

Für die Akzeptanz dieser Annahme spricht das immer wieder beobachtete gleichzeitige Auftreten von Maximalaspekten einzelner Arten an räumlich entfernten Fundorten in unterschiedlicher Höhe über NN.

Das Kriterium für die Auswahl der **Messstationen** ist ihre geographische Nähe zum **Beobachtungsgebiet**: Die Kreise Weimar und Weimarer Land. Die nächstliegenden Messstationen sind:

WE: Weimar-Schöndorf 51.02° N; 11.35° O, 325 m über NN

BB: Bad Berka (Flugplatz) 50.91° N; 11.27° O, 303 m über NN.

EF: Erfurt-Weimar 50.98° N; 10.96° O, 313 m über NN.

JE: Jena (Sternwarte) 50.92° N; 11.58° O, 155 m über NN.

Für die Darlegungen in dieser Arbeit wurden die Daten der Messstation **BB** (Bad Berka, Flugplatz) verwendet.

Folgende **meteorologische Elemente** wurden bislang als relevant für die durchgeführten Untersuchungen berücksichtigt:

BT05: Bodentemperatur, Tagesmittel in 5 cm Tiefe (unbewachsen, sandiger Lehm) in °C.

BF10: Bodenfeuchte nach AMBAV, Tagesmittel in der Schicht 0-10 cm (Gras, sandiger Lehm) in % nFK (nutzbare Feldkapazität).

BF60: Bodenfeuchte nach AMBAV, Tagesmittel in der Schicht 0-60 cm (Gras, Boden vor Ort) in % nFK (nutzbare Feldkapazität).

Detaillierte Beschreibungen der Datenelemente findet man beim (DWD, 2019) URL: <https://kunden.dwd.de/weste/>.

Weiterhin werden subjektive Bewertungen der Fruktifikationsintensität akzeptiert, da die Ermittlung von Fruchtkörperanzahl und/oder gebildeter Fruchtkörpermasse im Revier auf wohlbekannte Schwierigkeiten stößt.

Die Bewertung erfolgt in Stufen von 1 bis 9. Stufe 5 entspricht mittlerer, Stufe 9 maximaler Intensität. Stufe 0 – keine Beobachtung – wird nicht verwendet, weil nur die Anwesenheit von Fruchtkörpern mit Sicherheit festgestellt werden kann, nicht jedoch ihr Fehlen.

Für die Modellrechnungen und die Darstellungen wurde ©Microsoft Excel 2016 und ©Microsoft Visual Basic verwendet.

6. Darstellung des Modellraums

6.1. Zeitfunktionen

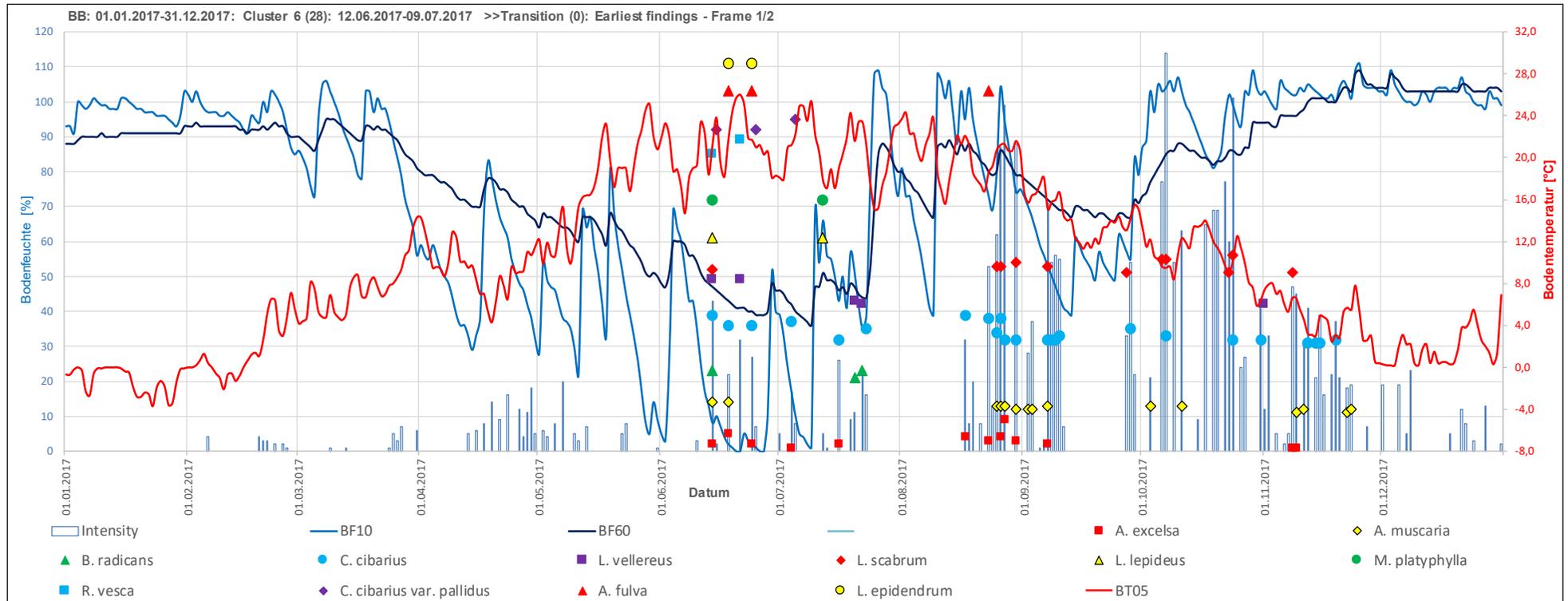


Abbildung 1 Zeitfunktionen

Die horizontale Achse (Kategorieachse) ist die Zeitachse.

Die primäre vertikale Achse (links) steht für Bodenfeuchte von 0 - 120%, die sekundäre vertikale Achse (rechts) für die Bodentemperatur von -8 bis 32 °C.

Die Wertebereiche für die vertikalen Achsen wurde nach Auswertung der Messreihen des DWD festgelegt.

Die Skalierung der Bodentemperatur-Achse wurde bewusst im 4°C-Raster festgelegt: Bei 0°C liegt der Gefrierpunkt des Wassers, bei 4°C hat das Wasser seine größte Dichte (Anomalie des Wassers). Diese beiden Temperaturen spielen im Kältebereich eine wichtige Rolle.

(Moser, 1958) weist darauf hin, dass niedrige Minimum-(Luft-)Temperaturen die Fruktifikation limitieren und setzt die Grenze bei 5°C an. (Müller & Gerhardt, 1995) widerspricht dieser Grenze unter Verweis auf beobachtetes Fruchtkörperwachstum bis zur 0°C-Grenze.

Eigene Beobachtungen deuten darauf hin, dass beginnend mit Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe von über 4°C Wachstumsprozesse in den Myzelien der Frühjahrspilze in Gang kommen (*Calocybe gambosa* und *Morchella*-Arten), was für andere Arten bereits oberhalb von 0°C der Fall ist (*Gyromitra esculenta*, *Strobilurus esculentus*, *Flammulina velutipes*).

Die Kopfzeile des Diagramms benennt die Messstelle, den Zeitraum und die Art der Auswahl der dargestellten Arten. Begriffe wie Cluster, Transition und Frame werden in den nachfolgenden Darlegungen erläutert.

Die Legende (im Diagramm unten) beschreibt neben den Zeitfunktionen BF10(t), BF60(t) und BT05(t) weitere Zeitfunktionen:

„Intensity“ präsentiert eine allgemeine Fruktifikationsintensität, ermittelt durch die Addition der Fruktifikationsintensitäten aller an einem Tag beobachteten Arten.

Des Weiteren werden die Fruktifikationsintensitäten (1-9) von bis zu 12 frei wählbaren Arten dargestellt. Zwecks Wahrung der Übersichtlichkeit wird jede Art in einen „Bodenfeuchte-Korridor von 10%“ projiziert: Die erste Art von 1-9%, die zweite von 11-19%, die dritte von 21-29% usw.

Weil jeweils nur 12 Arten dargestellt werden können, die in einem Block (Frame) zusammengefasst werden, entspricht die allgemeine Fruktifikationsintensität, die aus allen beobachteten Arten bestimmt wird, in der Regel nicht der Intensitätssumme der dargestellten Arten.

6.2. Bodentemperatur-Bodenfeuchte-(TF)-Diagramm

Die Kopfzeile des Diagramms benennt die Messstelle, den Zeitraum und Clusterungsparameter, die später erläutert werden. Jeder Punkt [BT05(n), BF10(n)] steht für die Messwerte eines Tages n.

Diese Darstellung vermittelt einen ersten Überblick über das Temperatur-Feuchte-Verhältnisse eines Jahres. Zum Vergleich die Jahre 2017 (feucht) und 2018 (trocken).

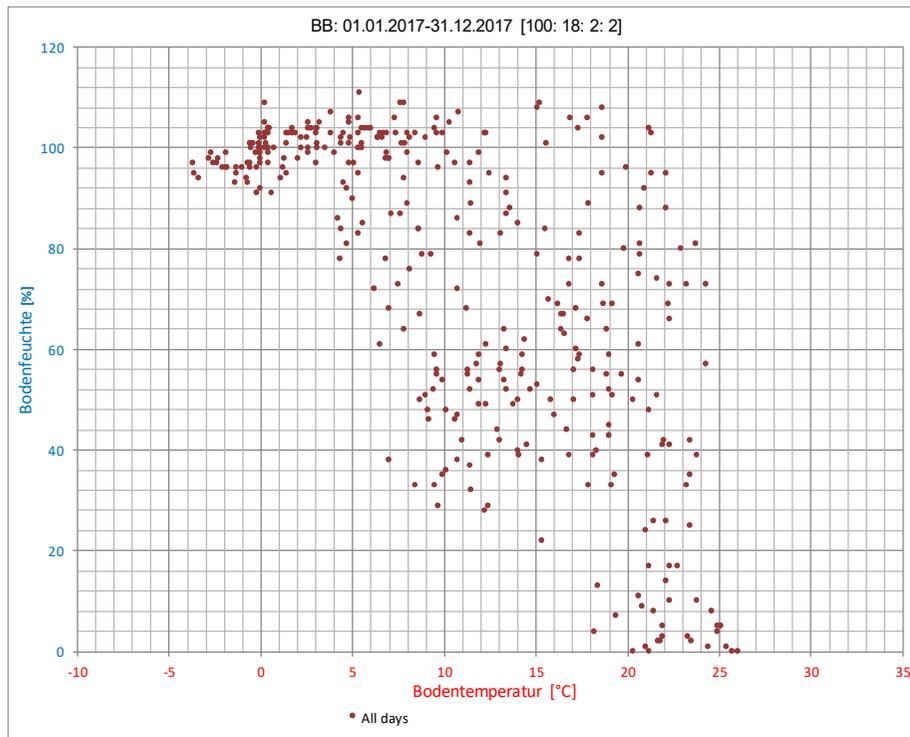


Abbildung 2 TF-Diagramm 2017

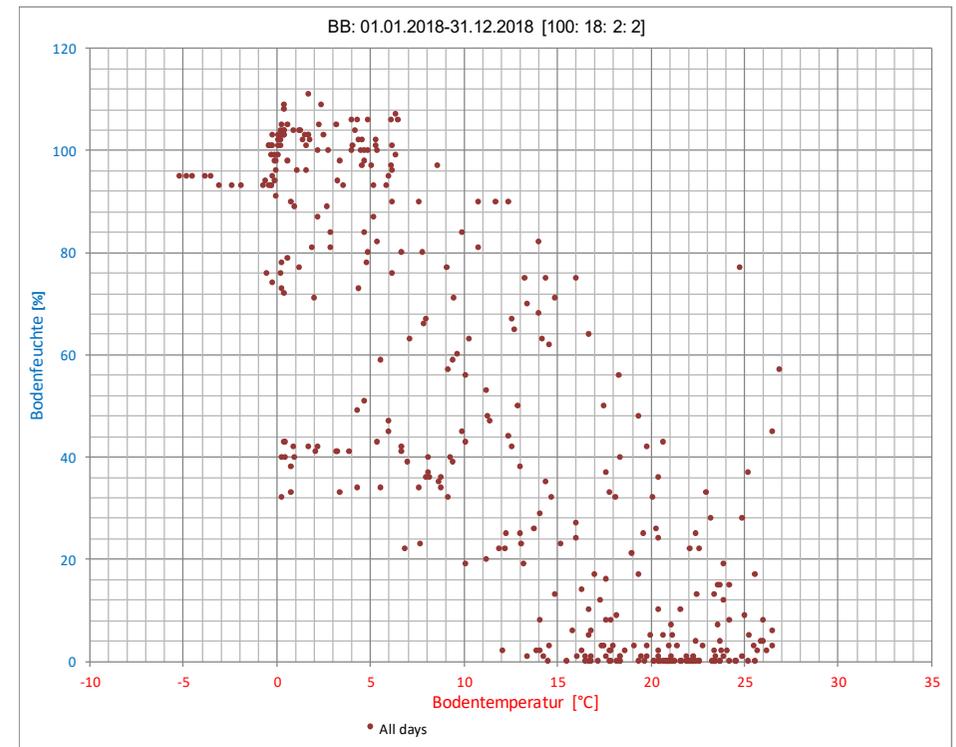


Abbildung 3 TF-Diagramm 2018

6.3. Witterungsverlauf – Cluster und Transitionen

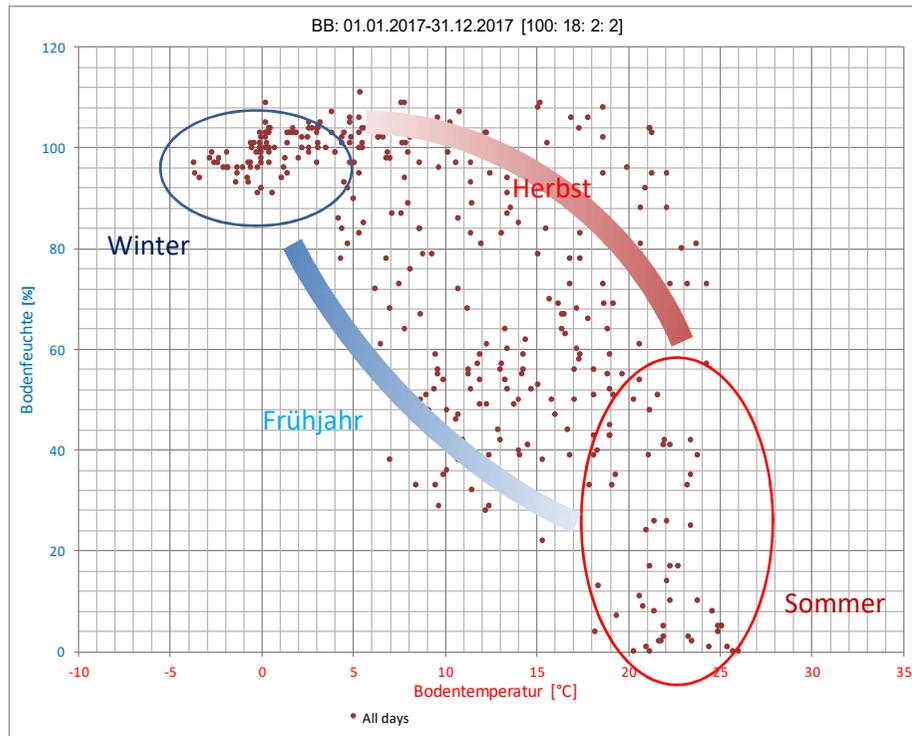


Abbildung 4 Zuordnung der Jahreszeiten

Die Zuordnung der mykophänologischen Jahreszeiten stellt sich in der Regel wie abgebildet dar.

Eine detaillierte Betrachtung offenbart sehr schnell, wie unterschiedlich die jährlichen Verläufe ausfallen (Rudolf, Witterung und Pilze - Jahresgang 2007-2018, 2019).

Außerdem stellt man fest, dass es im Witterungsverlauf immer wieder Abschnitte mit stabiler Witterung (Cluster) gibt, denen ein Übergang (Transition) in die nächste stabile Witterungslage folgt. Die Übergänge werden durch Wetterereignisse wie Starkregen, schnelle Temperaturänderungen, mehr oder weniger schnelle Austrocknung und Dauerregen ausgelöst.

Das Instrument, das sich für eine detaillierte Betrachtung des Witterungsverlaufs anbietet, heißt Clusteranalyse. Mit ihrer Hilfe werden Mengen von Punkten (Witterungscluster) mit ähnlichen Werten [BT05(n), BF10(n)], in nicht unterbrochener zeitlicher Folge ermittelt.

Vorab sind einige Entscheidungen zu treffen. Die wichtigste Frage ist „Wie viele Punkte muss ein Cluster mindestens enthalten?“

Das Zeitverhalten des Myzels ist entscheidend für die Beantwortung dieser Frage.

6.4. Das Myzel braucht Zeit

6.4.1. Entwicklungsmuster

(Becker, 1953 , publiziert 1956) formuliert bezogen auf das Pilzjahr 1952: „So kann man folgern, dass die Fruktifikation von *B. edulis* bedingt wird durch einen feuchten Frühling, während dem das Myzel wächst und seine Reserven speichert, einen warmen und trockenen Sommer, der die Bildung der Primordien veranlasst, indem er das Wachstum bremst, und einen feuchten Herbst, der die Entfaltung der Fruchtkörper ermöglicht. Im Gegensatz dazu ist die Fruktifikation in konstant regennassen Sommern spärlich oder gleich Null.“ Zitiert nach (Denker, 1975).

Wenn sich diese Aussage auch nicht ganz mit eigenen Beobachtungen von *B. edulis* im Jahr 2018 deckt (kein feuchter Frühling), erscheinen die für unsere Betrachtungen bedeutsamen Phasen Fruktifikationspotenzial aufbauen – Primordien bilden – Fruchtkörper entwickeln durchaus plausibel.

Fruktifikationspotenzial aufbauen: Das Myzel wächst und speichert Ressourcen, solange sich die Witterung im artspezifisch optimalen TF-Bereich für Myzelwachstum befindet.

Primordien bilden: Verschlechtern sich die Wachstumsbedingungen (der optimale TF-Bereich wird in einer bestimmten Richtung verlassen) oder ist genügend Druck durch die gespeicherten Ressourcen erreicht, werden Primordien angelegt. Ansonsten wird weiterhin Fruktifikationspotenzial aufgebaut.

Fruchtkörper entwickeln: Tritt die Witterung in den für die Fruchtkörperbildung optimalen TF-Bereich ein, entwickeln sich die

Fruchtkörper. Das Fruktifikationspotenzial wird entladen. Das vorhandene Fruktifikationspotenzial und die Anzahl der Primordien entscheiden über die Anzahl und die Größe der Fruchtkörper.

Wird dieses Muster unterbrochen, fällt die Fruktifikation schwächer oder ganz aus.

Die optimalen Bereiche können sich durchaus überschneiden.

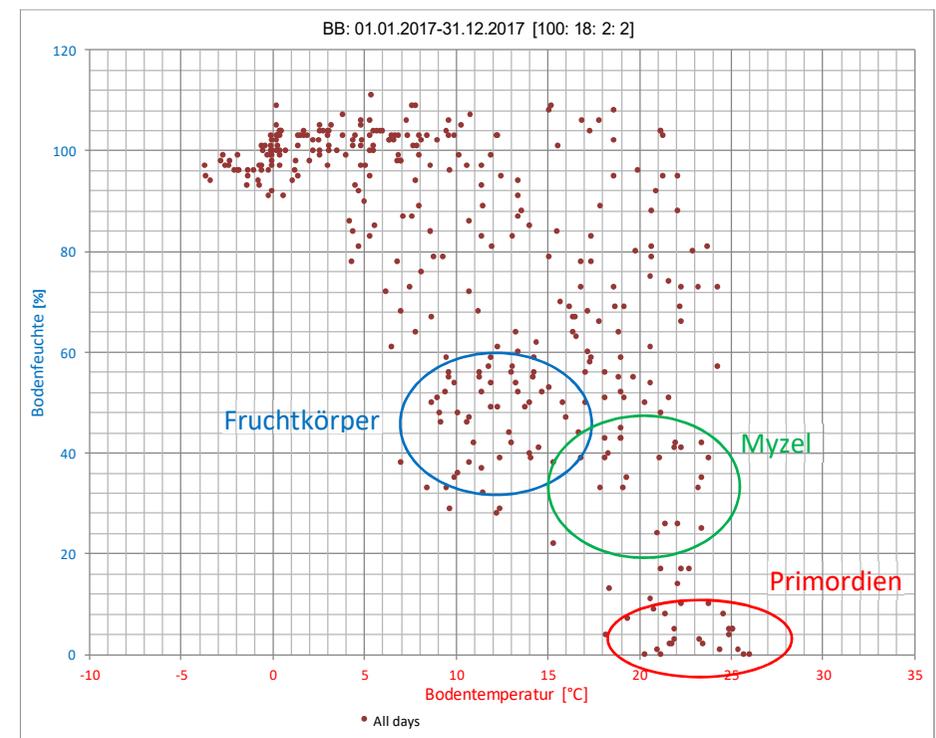


Abbildung 5 These: Optimale TF-Bereiche

6.4.2. Fruktifikationspotenzial

Zweifellos nimmt der Aufbau von Fruktifikationspotenzial die zentrale Stellung im Reproduktionszyklus der Großpilze ein. Dabei ist es eine in der Literatur kaum gewürdigte Größe, die oft nur nebenher oder indirekt bemüht wird.

Der Aufbau von Fruktifikationspotenzial erfordert vermutlich die längste Zeit, während die Anlage von Primordien und der Austrieb der Fruchtkörper schnell erfolgen, sobald die auslösenden Ereignisse, d.h. der Übergang in den entsprechenden TF-Bereich, eintreten. Auch die Frage nach der Selbstentladung darf gestellt werden: Führt das Erreichen eines bestimmtem Fruktifikationspotentials zur Fruktifikation, falls bereits Primordien vorhanden sind?

Wie lange dauert es, bis das Myzel das für eine erfolgreiche Fruktifikation erforderliche Fruktifikationspotenzial aufgebaut hat?

Diese Frage kann zweifellos nur artbezogen beantwortet werden. Vermutlich ist die Verweilzeit der Witterung im optimalen Bereich entscheidend, wobei diese nicht am Stück absolviert werden muss. Die erforderliche Zeit bis zum Erreichen eines für die Fruktifikation hinreichenden Potentials wird auf wenige Tage bis 1 Monat geschätzt. Aus eigenen Beobachtungen ergeben sich 14 bis 18 Tage.

Hält sich die Witterung lange genug im Kern des optimalen TF-Bereichs auf, wird das Fruktifikationspotenzial schnell aufgebaut. Im Randbereich dauert der Aufbau länger. Wird der optimale TF-Bereich verlassen, so wird der Aufbau unterbrochen und bei Wiedereintreten fortgesetzt.

Für diese Annahme spricht, dass die für den Aufbau von Fruktifikationspotenzial benötigte Zeit in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf erheblich schwanken kann und das kritische Potenzial unter Umständen gar nicht erreicht wird.

Weiterhin wäre damit erklärt, warum an einem bestimmten Fundort vorhandenen Myzelien nach und nach fruktifizieren: Beobachtet an einem Fundort von *Cantharellus cibarius* mit etwa 50 Myzelien in einer Hanglage, je nach Höhe am Hang differieren die mikroklimatischen Bedingungen.

Einen ähnlichen Hinweis liefert das Fruktifikationsverhalten von *Calocybe gambosa*. Der erste Schub konnte 2016 ca. 60 Tage nach dem Überschreiten der 4°C-Grenze der Bodentemperatur bzw. 26 Tage nach dem Überschreiten der 8°C-Grenze beobachtet werden, Myzelien unter weniger günstigen mikroklimatischen Bedingungen folgten verzögert. War die Fruktifikation einmal im Gange, fruktifizierten weitere Myzelien schubweise 2-3 Tage nach jedem Niederschlagsereignis.

Oft führt der erste kräftige Regen nach einer trocken-warmen Periode nicht zu einem Pilzschub. Es dauert. Regnet es nach vielleicht zwei Wochen erneut, fruktifizieren möglicherweise viele Arten, weil inzwischen genügend Fruktifikationspotenzial aufgebaut wurde. Das würde erklären, warum manches Niederschlagsereignis zum Erscheinen der Fruchtkörper führt, andere aber nicht.

(Krakow, 2019) schildert seine Beobachtungen folgendermaßen: „Nach längerer Trockenheit lassen ergiebige Regenfälle das Pilzwachstum sprunghaft nach 10 - 14 Tagen ansteigen. Nach 11

Tagen sprossen an meinen Beobachtungsstandorten die ersten Körnchen-Röhrlinge (Kiefern, etwas kalkhaltig). Wenn diese sich zeigen, setzen innerhalb weniger Tage, meist am 14. Tag auch Steinpilze und andere Röhrlinge ein. Waren die Niederschläge nachhaltig genug oder regnete es immer wieder nach, so war etwa 3 Wochen nach der Trockenheit auch ein vielseitiges Pilzwachstum zu verzeichnen, während die Röhrlinge ihren Hauptschub schon hinter sich hatten. Überschneiden sich dann aber nennenswerte

Regenfälle immer wieder, so wird auch diese Rhythmik zunehmend verschwommen. In dauerfeuchten Jahren sind die Wachstumsschübe weniger deutlich, es zeigt sich dann aber eine etwa 4-wöchige Rhythmik. Ansonsten sind die Niederschlagsintervalle entscheidend, wobei ein durchaus ergiebiges Ereignis ohne Folgeniederschläge in Hitzeperioden von Mai bis August trotzdem ohne Pilzschub einher gehen kann, da die Verdunstung viel zu hoch ist und auch die Pflanzen viel Feuchtigkeit ziehen. So geschehen im Ausnahme-Jahr 2018.“

6.4.3. Ausblick: Isolinien im TF-Diagramm

Im TF-Diagramm lassen sich Bedingungen gleichen Wachstums als Isolinien darstellen, wie es (Sedlbauer, 2001) für die „Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen“ getan hat. Die bei ihm als Isoplethen bezeichneten Isolinien wurden unter Laborbedingungen ermittelt.

Isolinien für die Wachstumsbedingungen von Großpilzen lassen sich nur durch Feldbeobachtungen ermitteln.

Die experimentelle Analyse technischer Systeme hinsichtlich ihres Übertragungsverhaltens von Signalen arbeitet mit Sprung- oder Impulsfunktionen als Eingangssignal. Die Reaktion des technischen Systems bezeichnet man entsprechend als Sprung- oder Impulsantwort.

Betrachtet man in Analogie das Antwortverhalten von Myzelien auf Änderungen der Witterung so ist der Beobachter darauf angewiesen, dass die Witterung isolierte Impulse oder Sprünge liefert.

Das kann zum Beispiel der Fall sein, wenn in einer ausgeprägten Trockenperiode ein isoliertes signifikantes Niederschlagsereignis eintritt (Impuls) oder durch Austausch der Luftmassen eine wesentliche Änderung der Temperatur eintritt (Sprung).

Nur isolierte Ereignisse gewähren, dass die Antwort des Myzels innerhalb der Reaktionszeit nicht durch weitere Impulse oder Sprünge der Witterung überlagert wird.

Die Kenntnis der Reaktionszeit von Myzelien ermöglicht, rückblickend auf die optimalen Wachstumsbedingungen zu schließen.

Das krönende Ergebnis der Analyse von Witterung und Phänologie der Großpilze wäre die Ermittlung von artspezifischen Isolinien für ihre Wachstumsbedingungen.

7. Clusterung des Witterungsverlaufs des Jahres 2017

Die Mindestanzahl der Punkte, die ein Cluster bilden, wurde auf 18 festgelegt. Der Höchstabstand der Punkte in einem Cluster wurde nicht begrenzt. Als Abstände der Punkte wurden die Abstände der Punkte untereinander festgelegt (alternativ sind auch die Abstände zum Clustermittelpunkt möglich).

Cluster	BeginDate	121		244		avgDist
		TP	CP	meanT	meanF	
1	01.01.2017	3	18	-0,94	99	1,54
2	22.01.2017	11	18	-0,01	96	2,40
3	20.02.2017	14	20	6,69	95,00	6,89
4	26.03.2017	4	18	10,76	46,83	9,89
5	17.04.2017	6	18	10,77	43,22	7,83
6	11.05.2017	32	28	21,74	11,07	10,82
7	10.07.2017	0	29	20,46	65,90	17,71
8	08.08.2017	4	18	19,62	90,39	9,78
9	30.08.2017	8	18	13,53	50,39	5,33
10	25.09.2017	6	18	11,61	96,89	7,05
11	19.10.2017	11	19	5,67	102,47	2,13
12	18.11.2017	11	22	0,97	102,73	1,91
13	21.12.2017	11	0	6,90	99,00	0,00

Tabelle 1 Witterungscluster des Jahres 2017

Das Ergebnis der Clusterung ist tabellarisch und graphisch dargestellt. Die Analyse zeigt 13 Cluster. Die Tabelle listet für jedes Cluster das Datum des Beginns, die Anzahl der Transitionsunkte (TP), die Anzahl der Clusterpunkte (CP), den Mittelpunkt des Clusters im TF-Diagramm [meanT, meanF] und den mittlere Abstand der Clus-

terpunkte untereinander (avgDist) angegeben. Von den 365 Punkten des Jahres liegen 244 in den Clustern (67%) und 121 in Transitionen (33%).

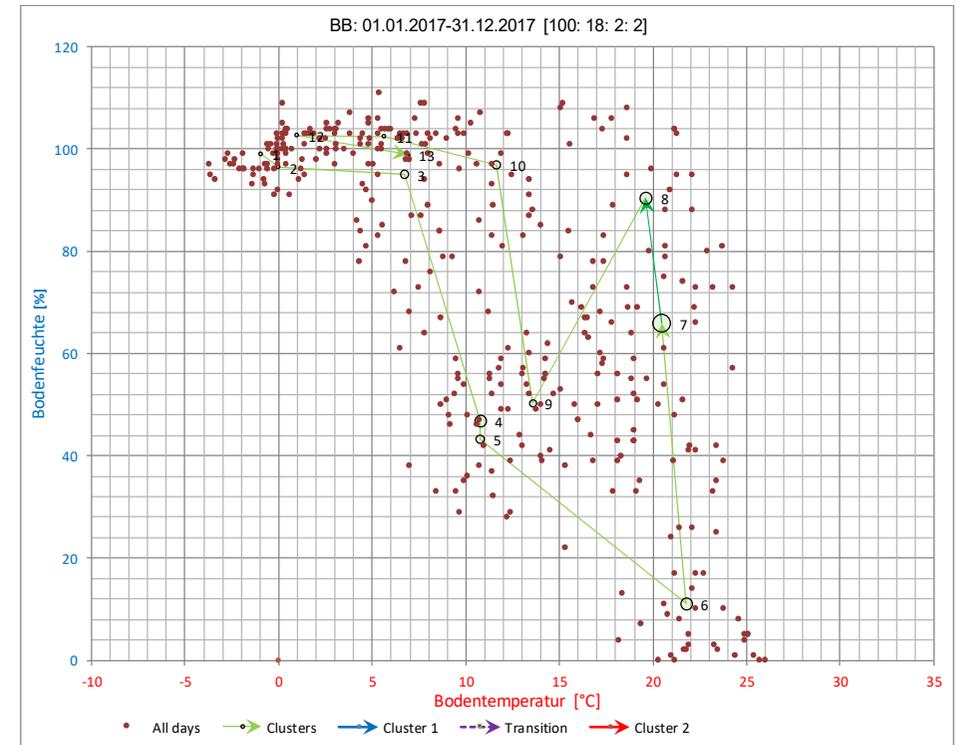
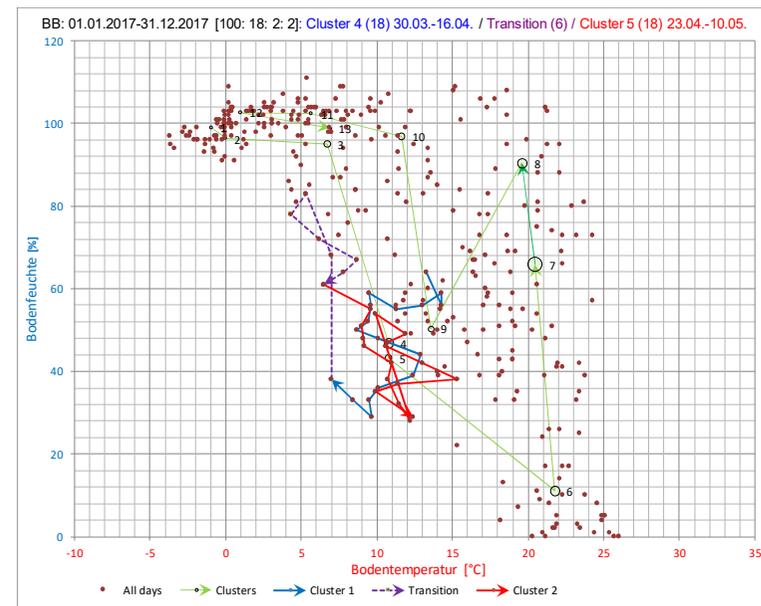
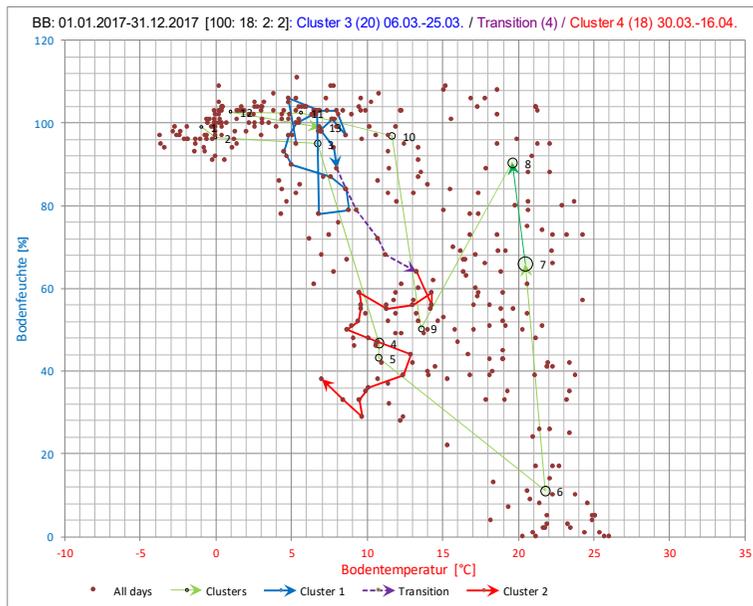
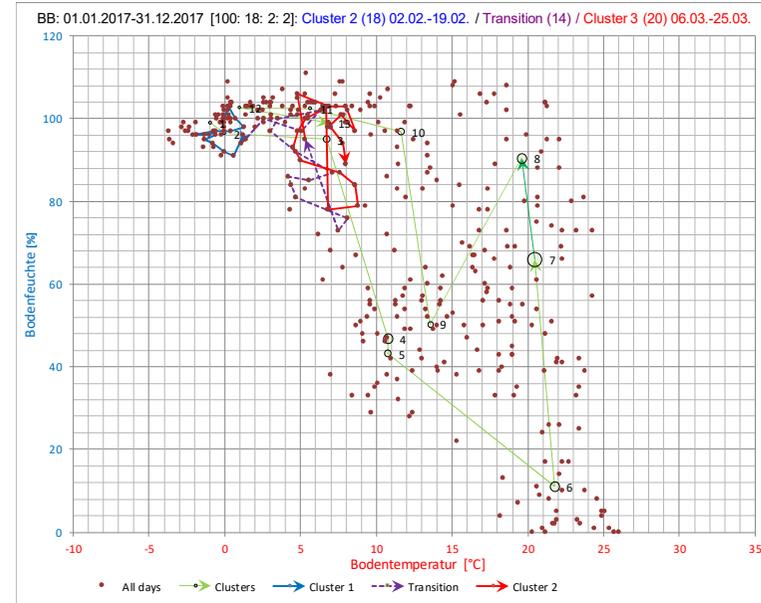
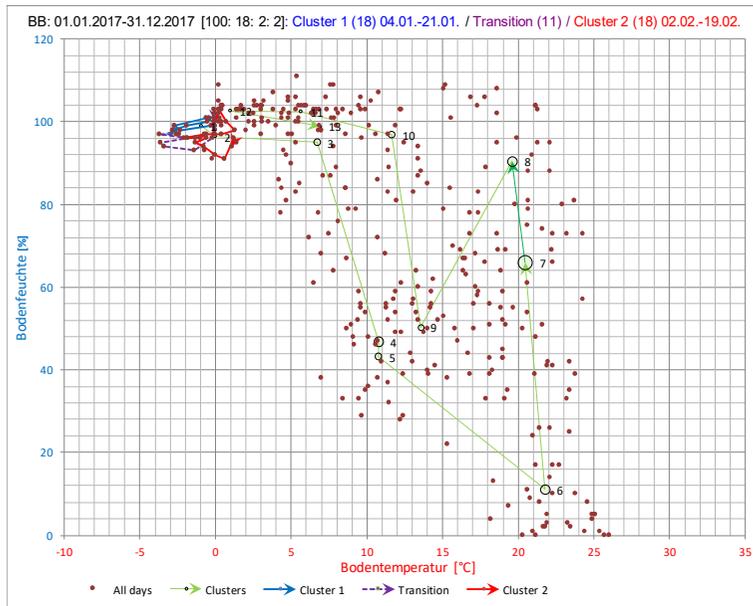
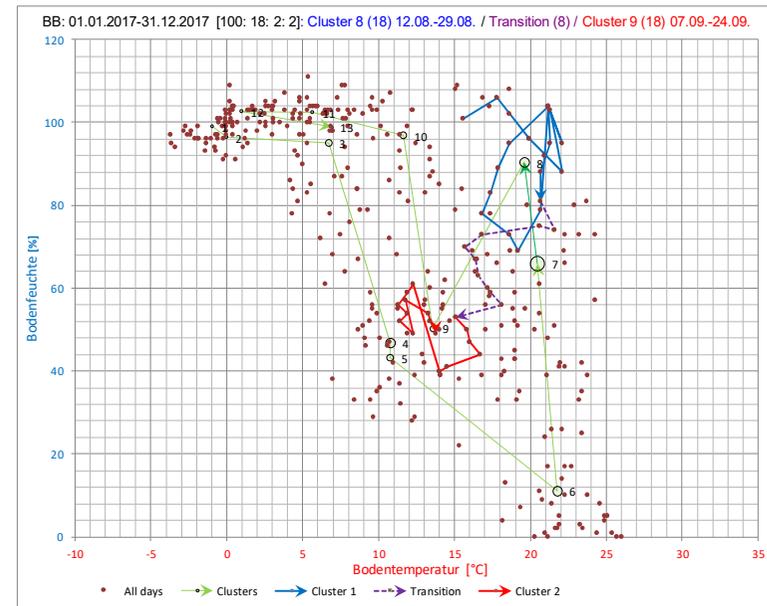
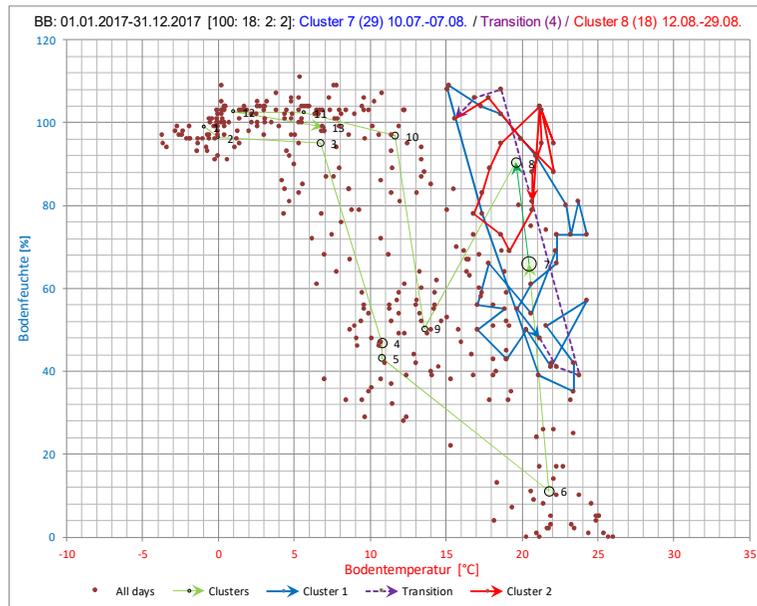
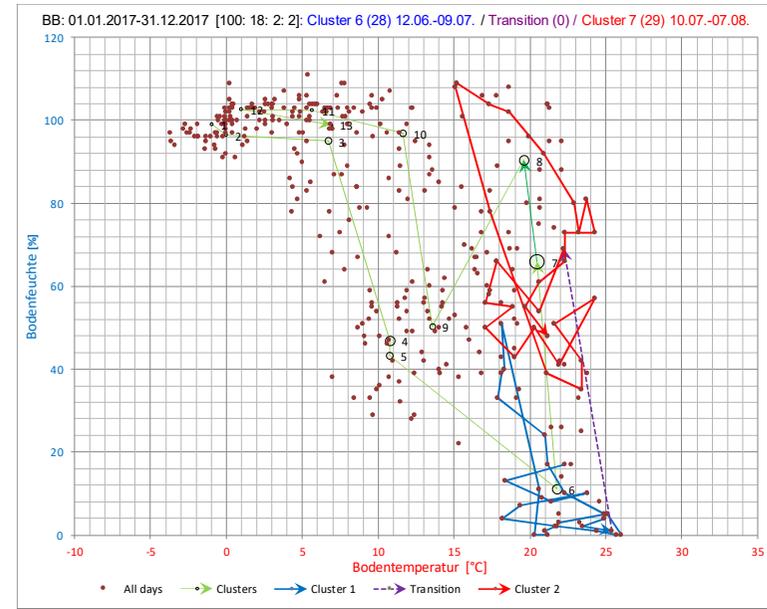
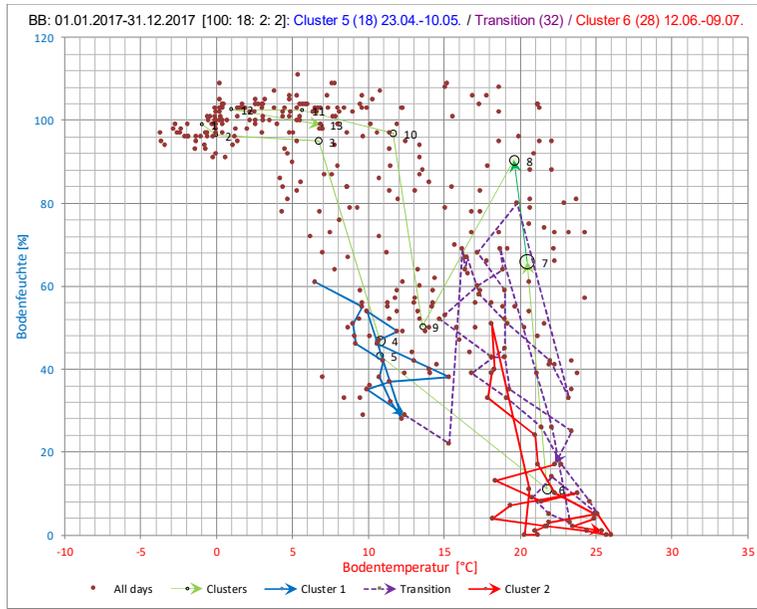


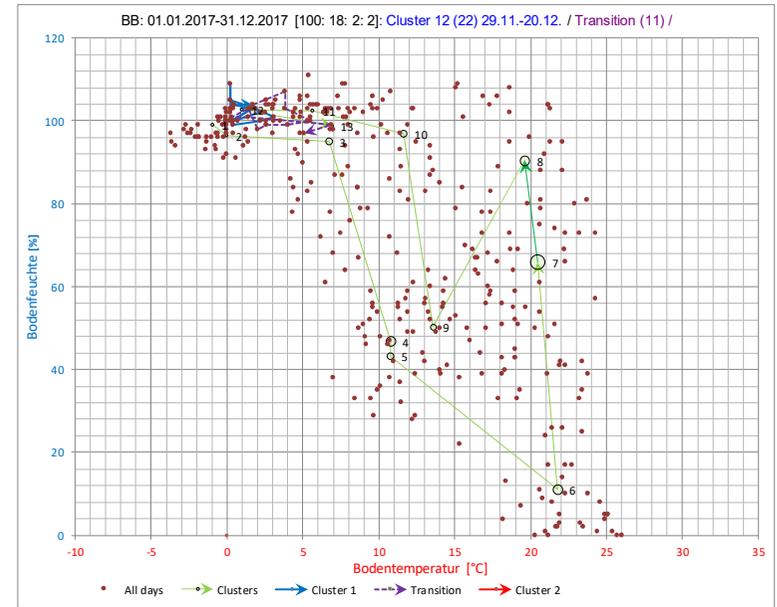
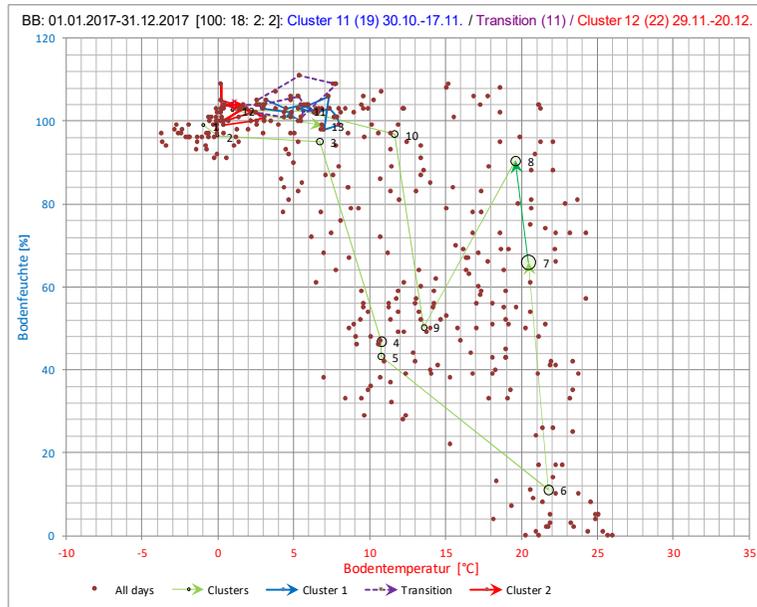
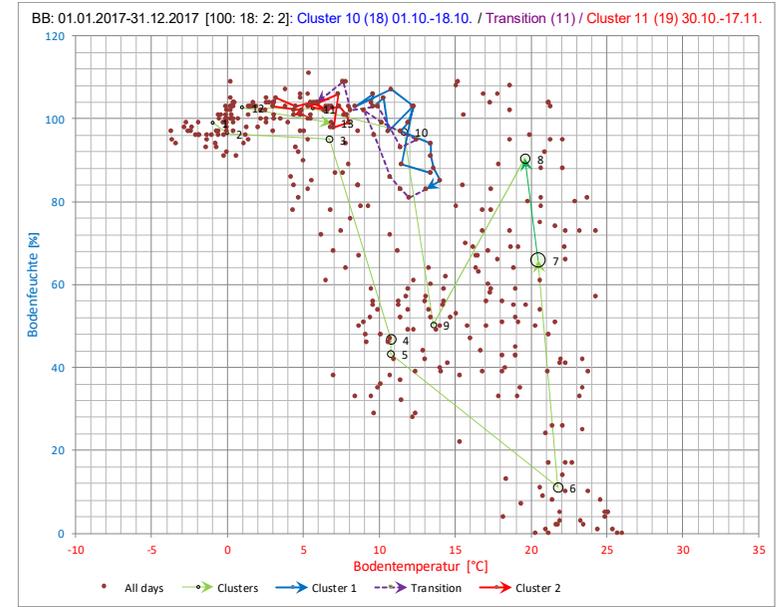
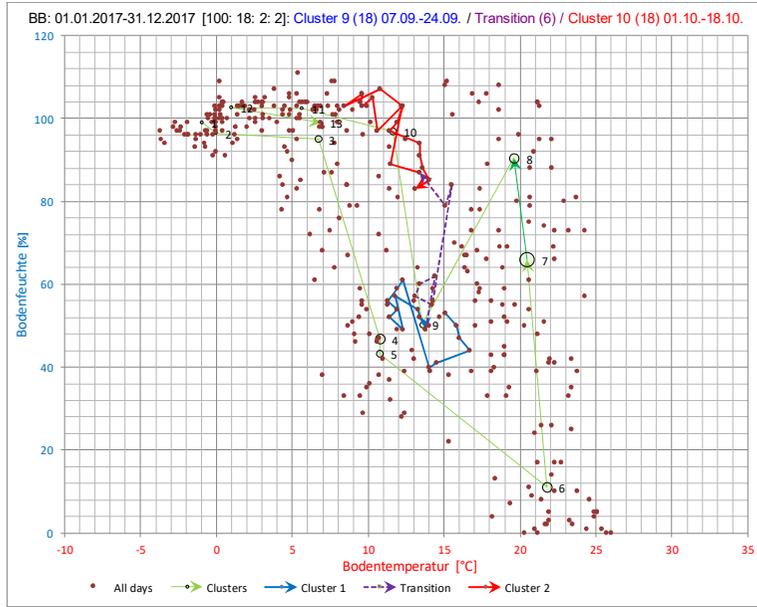
Abbildung 6 Witterungscluster des Jahres 2017

Die Abbildung zeigt die Lage der Clustermittelpunkte im TF-Diagramm.

Die nachfolgenden graphischen Darstellungen der einzelnen Cluster und der Transitionen veranschaulichen das Ergebnis des Verfahrens (Beschriftungen der Abbildungen in der Kopfzeile).







8. Fallbeispiel: *Morchella esculenta* 2017 und 2018

Cluster	BeginDate	TP	CP	meanT	meanF	avgDist
1	01.01.2017	3	18	-0,94	99	1,54
2	22.01.2017	11	18	-0,01	96	2,40
3	20.02.2017	14	20	6,69	95,00	6,89
4	26.03.2017	4	18	10,76	46,83	9,89
5	17.04.2017	6	18	10,77	43,22	7,83
6	11.05.2017	32	28	21,74	11,07	10,82
7	10.07.2017	0	29	20,46	65,90	17,71
8	08.08.2017	4	18	19,62	90,39	9,78
9	30.08.2017	8	18	13,53	50,39	5,33
10	25.09.2017	6	18	11,61	96,89	7,05
11	19.10.2017	11	19	5,67	102,47	2,13
12	18.11.2017	11	22	0,97	102,73	1,91
13	21.12.2017	11	0	6,90	99,00	0,00

Tabelle 2 Cluster und Transitionen 2017

Das Frühjahr 2017 war ein sehr starkes Morchel-Jahr. Die Witterung lag 7 Wochen (Cluster 3 und 4) in dem für *Morchella esculenta* identifizierten optimalen Fruktifikations-Bereich (gelb hinterlegt). Die Fruchtkörper erschienen in den letzten 4 der 7 Wochen überaus zahlreich in mehreren Schüben. Am 11.05.2017 begann die Transition von Cluster 5 nach 6, die über 4 Wochen äußerst wechselhafte Witterung brachte, was ein gutes Myzelwachstum vieler Arten und damit ein gutes Pilzjahr versprach. Ab 12.06.2017 stabilisierte sich die Witterung im Fröhsommer-Cluster 6.

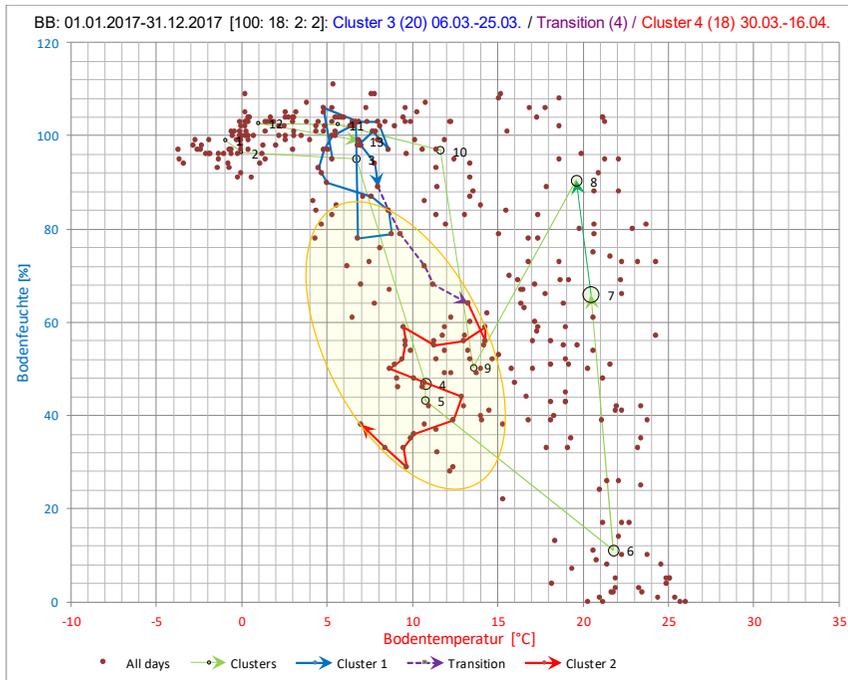


Abbildung 7 Witterung im Frühjahr 2017/1

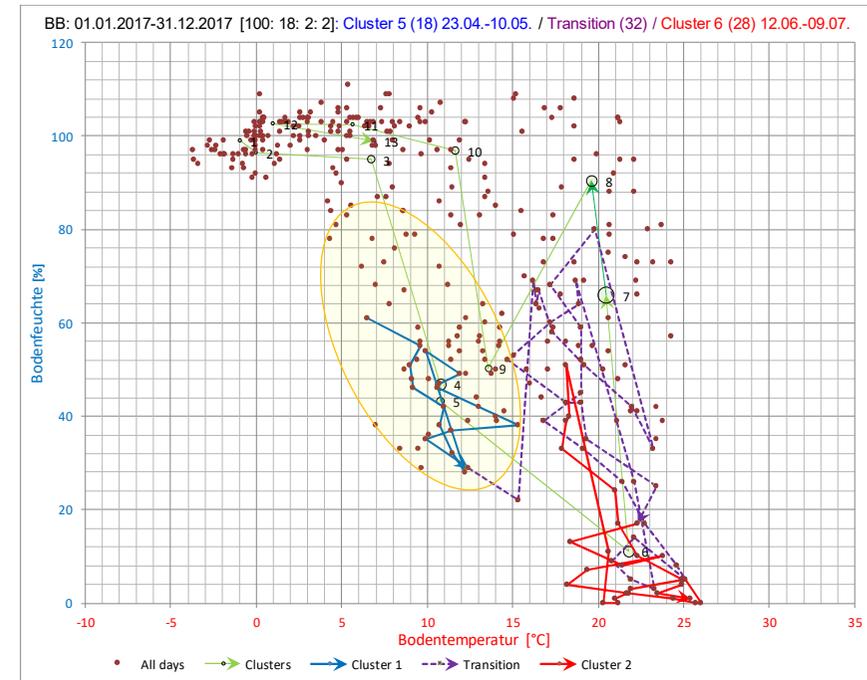


Abbildung 8 Witterung im Frühjahr 2017/2

Cluster	BeginDate	TP	CP	meanT	meanF	avgDist
1	01.01.2018	1	19	1,85	104	2,36
2	21.01.2018	2	20	2,27	99	3,38
3	12.02.2018	3	18	-2,06	94,33	2,24
4	05.03.2018	9	20	3,47	100,75	4,88
5	03.04.2018	26	24	16,76	4,25	4,40
6	23.05.2018	10	20	22,57	0,10	1,39
7	22.06.2018	23	18	24,19	6,28	5,59
8	02.08.2018	8	23	20,49	4,48	5,71
9	02.09.2018	3	18	18,26	7,06	7,49
10	23.09.2018	3	18	11,10	52,72	9,74
11	14.10.2018	10	18	7,46	41,28	4,29
12	11.11.2018	3	18	1,96	38,89	3,65
13	02.12.2018	3	18	2,52	77,56	4,34
14	23.12.2018	9	0	4,70	100,00	0,00

Tabelle 3 Cluster und Transitionen 2018

Das Frühjahr 2018 war ausgesprochen morchelarm. Der optimale Bereich für *Morchella esculenta* (gelb unterlegt) wurde lediglich kurzzeitig tangiert. Die bekannten Myzelien fruktifizierten überwiegend gar nicht oder es erschienen nur wenige Fruchtkörper. Die Witterung lief am Morchel-Bereich vorbei, ohne anderen Arten nennenswerte Bedingungen für Myzelwachstum zu bieten, was keine guten Aussichten für das weitere Pilzjahr versprach.

Andererseits kam es zu einem starken Auftritt des Schwefelporlings (*Laetiporus sulphureus*). Schlussfolgerung: Der optimale Bereich für den Schwefelporling liegt im TF-Diagramm rechts des *Morchella esculenta*-Bereichs.

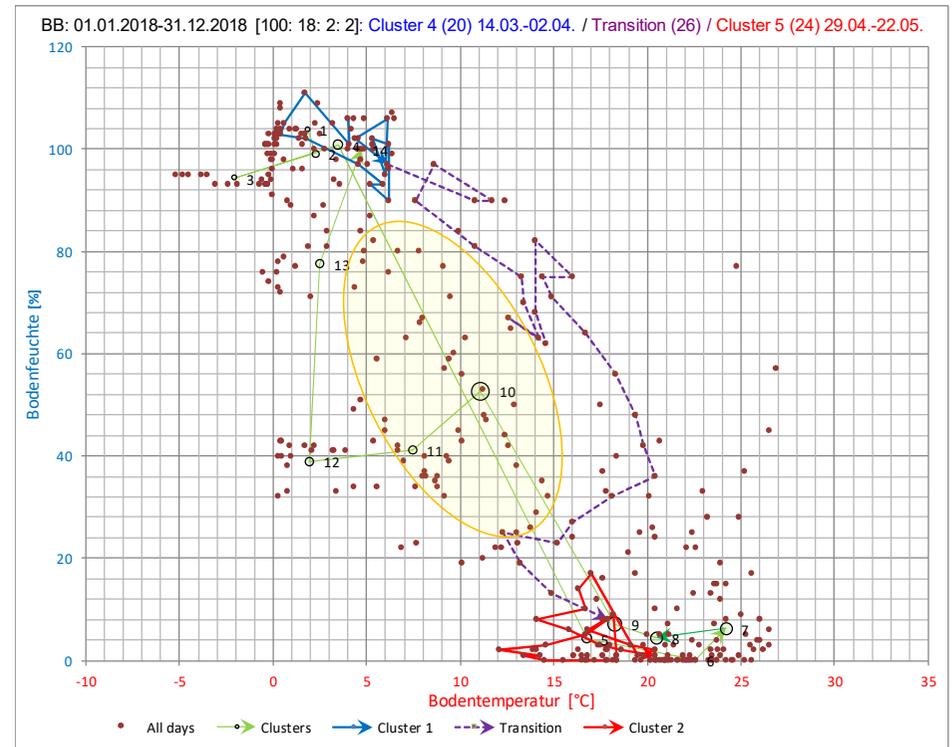


Abbildung 9 Witterung im Frühjahr 2018

Eine ausführliche Beschreibung von Witterung und Phänologie des Jahres 2017 in den Kreisen Weimar und Weimarer Land bieten (Rudolf, Witterung und Pilze - Jahr 2017) und (Rudolf, Witterung und Pilze - Jahr 2018)

9. Glossar

Cluster leitet sich ab von englisch *cluster* = ‚Traube‘, ‚Bündel‘, ‚Schwarm‘, oder ‚Ballung‘.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Cluster>

Cluster steht hier für eine Menge von Punkten mit ähnlichen Werten [BT05(n), BF10(n)], in nicht unterbrochener zeitlicher Folge.

Isolinien (von altgriechisch ἴσος ‚gleich‘), auch Isarithmen genannt, sind Linien, auf denen jeweils an jedem Punkt der gleiche Wert auftritt.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Isolinie>

Meteorologische Elemente: Messwerte und Werte aus Modellrechnungen.

Quelle: DWD MetElementDefinition.xml

nFK – nutzbare Feldkapazität: Die nFK wird üblicherweise als der Wasservorrat eines Bodens angesehen, der von den Pflanzen genutzt werden kann.

Quelle: <https://www.spektrum.de/lexikon/geowissenschaften/nutzbare-feldkapazitaet/11368>

Phänologie: Die Phänologie (altgriechisch φαίνω *phaíno*, deutsch ‚ich erscheine‘ und -logie) befasst sich mit den im Jahresablauf periodisch wiederkehrenden Entwicklungserscheinungen in der Natur.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Phänologie>

Pilzaspekt (lat. *aspectus* ‚Aussehen‘) bezeichnet das phänologische Erscheinungsbild während einer bestimmten Jahreszeit. Der Maximal-Aspekt bezieht sich auf das maximale Erscheinen einer Pilzart oder Pilzartengruppe. Als Optimal-Aspekt bezeichnet man eine maximale Artenvielfalt. Vergleiche (Höfler, Über Pilzaspekte, 1954)

Quelle: (MHK, Michael, Hennig, Kreisel Handbuch für Pilzfreunde, Band I, 1983)

Wetter: Als "Wetter" wird der physikalische Zustand der Atmosphäre zu einem bestimmten Zeitpunkt oder in einem auch kürzeren Zeitraum an einem bestimmten Ort oder in einem Gebiet bezeichnet, wie er durch die meteorologischen Elemente und ihr Zusammenwirken gekennzeichnet ist.

Quelle: DWD Wetterlexikon

Witterung: Als Witterung wird der allgemeine, durchschnittliche oder auch vorherrschende Charakter des Wetterablaufs eines bestimmten Zeitraums (von einigen Tagen bis zu ganzen Jahreszeiten) bezeichnet.

Quelle: DWD Wetterlexikon

Transition (lat. ‚transitio‘ = ‚Übergang‘).

Hier: von einer stabilen Witterungslage in eine andere stabile Witterungslage.

Quelle: <https://de.wikipedia.org/wiki/Transition>

10. Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Zeitfunktionen.....	8
Abbildung 2 TF-Diagramm 2017.....	10
Abbildung 3 TF-Diagramm 2018.....	10
Abbildung 4 Zuordnung der Jahreszeiten.....	11
Abbildung 5 These: Optimale TF-Bereiche.....	12
Abbildung 6 Witterungscluster des Jahres 2017.....	16
Abbildung 7 Witterung im Frühjahr 2017/1.....	20
Abbildung 8 Witterung im Frühjahr 2017/2.....	20
Abbildung 9 Witterung im Frühjahr 2018.....	21

11. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Witterungscluster des Jahres 2017.....	16
Tabelle 2 Cluster und Transitionen 2017.....	20
Tabelle 3 Cluster und Transitionen 2018.....	21

12. Quellen

- Becker, G. (1953 , publiziert 1956). *Observations sur l'écologie des champignons supérieurs*. Besancon.
- BFH. (2005/1). *Arbeitsbericht Konzept und Machbarkeitsstudie für die integrierende Auswertung von Daten des Umweltmonitorings im Wald*. Eberswalde: Bundesforschungsanstalt für Forst- und Holzwirtschaft.
- Denker, M. (Juni 1975). Beobachtungen über die Abhängigkeit von *Amanita muscaria* und *Boletus edulis* von den Witterungsverhältnissen im Jahre 1973. *Zeitschrift für Pilzkunde* 41, S. 39-44.
- DWD. (2019). Deutscher Wetterdienst. WESTE (Wetterdaten und -statistiken express). Von <https://kunden.dwd.de/weste/> abgerufen
- Friedrich, K. (1940). *Untersuchungen zur Ökologie der höheren Pilze*. Jena: Gustav Fischer.
- H. Ellenberg, H. W. (1992). Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. *Scripta Geobotanica* 18.
- Halbwachs, H. (2007). Fruchtkörperbildung bei saprotrophen und Mykorrhizapilzen: Ein Beitrag zur Ökologie von Großpilzen in einem Kiefernforst der Rhein-Main-Ebene. *Zeitschrift für Mykologie* 73/2, S. 145-202.
- Halbwachs, H. (2008). Phänologie von saprotrophen und Mykorrhizapilzen: Ein Beitrag zur Ökologie von Großpilzen in einem Kiefernforst der Rhein-Main-Ebene. *Zeitschrift für Mykologie* 74(2) , S. 221-252.
- Halbwachs, H. (2009 ff). Pilzökologische Datenerfassung muss nicht aufwendig sein. *Zeitschrift für Mykologie* 75(1), S. 87-104.
- Höfler, K. (1954). Über Pilzaspekte. *Vegetatio*, Vol. 5/6 No.1, S. 373-380.
- Höfler, K. (Wien 1955). Über Pilzsoziologie. *Verhandlungen der Zoologisch-Botanischen Gesellschaft in Wien*.
- Krakow, R. (08. 01 2019). Der berühmte 11. Tag. (D. Rudolf, Interviewer) Von www.steinpilz-wismar.de/ abgerufen
- MHK. (1983). *Michael, Hennig, Kreisel Handbuch für Pilzfreunde, Band I*. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag.
- MHK. (1985). *Michael, Hennig, Kreisel Handbuch für Pilzfreunde, Band IV*. Jena: VEB Gustav Fischer Verlag.
- Moser, M. (1958). Der Einfluß tiefer Temperaturen auf das Wachstum und die Lebenstätigkeit höherer Pilze mit spezieller Berücksichtigung von Mykorrhizapilzen. *Sydowia* 12, S. 386-399.
- Müller, S., & Gerhardt, A. (1995). Untersuchungen zu Vorkommen und Ökologie von Großpilzen im Raum Bielefeld Teil 2. *Zeitschrift für Mykologie Band* 61(1), S. 59-78.
- Richter, D. (27. Dezember 2005). Klima und Pilze Teil 1. *Der Tintling* 4/2005 10. Jahrgang, S. 33-50.
- Richter, D. (27. März 2006). Klima und Pilze, Teil 2. *Der Tintling* 1/2006 11. Jahrgang, S. 38-47.
- Richter, D. (27. Juni 2006). Pilzwachstum und Mondphasen. *Der Tintling* 2/2006 11. Jahrgang, S. 30-33.

- Richter, D. (27. September 2007). Untersuchungsergebnisse zum jahreszeitlichen Verlauf von Witterung und Pilzwachstum. *Der Tintling 3/2007 12. Jahrgang*, S. 8-20.
- Richter, D. (27. September 2009). Klima und Pilze. *Der Tintling 3/2009 14. Jahrgang*, S. 31-42.
- Richter, D. (15. Juni 2014). Der Jahresgang des Wachstums einiger Pilzarten und seine Veränderung durch den Klimawandel. *Der Tintling 3/2014 19. Jahrgang*, S. 85-92.
- Rudolf, D. (2018). *Witterung und Pilze - Jahr 2017*. Weimar: PDF beim Autor.
- Rudolf, D. (2019). *Witterung und Pilze - Jahr 2018*. Weimar: PDF beim Autor.
- Rudolf, D. (2019). *Witterung und Pilze - Jahresgang 2007-2018*. Weimar: PDF beim Autor.
- Sedlbauer, K. (2001). *Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen*. Universität Stuttgart, Dissertationsschrift.
- Wilkins, W. H., & Harris, C. C. (1946). The ecology of the larger fungi V. *Annals of Applied Biology*, pp. 179-188.
- Wohlgemuth, T., & ua. (2016). Muster und treibende Kräfte der Samenproduktion bei Waldbäumen. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen 167 (2016) 6*, S. 316-324.