



Methodenblatt Klimaindizes für die Landwirtschaft

Pflanzenbau

Nachhaltiger Wachstumsbeginn

Im Pflanzenbau allgemein und besonders bei der Grünlandbewirtschaftung ist der nachhaltige Wachstumsbeginn im Frühjahr von Bedeutung. Der Termin wird auch für die Düngung des Grünlands genutzt. Um verfrühte Terminschätzungen zu vermeiden und die Remobilisierungsphase der Pflanzenaktivität zu berücksichtigen, werden nach der Methode von Ernst und Loeper die Wärmesummen von Januar mit dem Faktor 0,5 und von Februar mit 0,75 gewichtet (1). Ab März gilt der Faktor 1,0. Aufsummiert werden alle positiven Tagesmitteltemperaturen, die sogen. **Gradtage (GDD)**. Nachhaltiges Wachstum beginnt, wenn der Summenwert 200 erreicht wird (**G200**).

Wärmesumme nach Ernst und Loeper:

$G200_{\text{gewichtet}} =$

$$\sum GDD_{\text{Januar}} * 0,5 + \sum GDD_{\text{Februar}} * 0,75 + \sum GDD_{\text{März}} * 1,0 + \dots$$

GDD: Summierte Tagesmitteltemperaturen $> 0^{\circ}\text{C}$

G200: Datum, an dem die Wärmesumme 200 $^{\circ}\text{C}$ erreicht = Wachstumsbeginn

Um die Wachstumsbedingungen des Frühjahrs verschiedener Jahre miteinander zu vergleichen, werden auch Wärmesummen herangezogen, die jeweils vom 1. Januar bis zum 31. Mai erreicht wurden (**GDD_1-5**).

Lufttrockenheit und Wachstum

Pflanzen reagieren nicht nur auf periodisch auftretende Bodentrockenheit, sondern auch auf die relative Lufttrockenheit. Diese nimmt mit steigender Temperatur und abnehmender relativer Luftfeuchte zu. Ein Maß für relative Lufttrockenheit ist das **Wasserdampfsättigungsdefizit** der Luft (kurz: **D** oder VPD, *vapour pressure deficit*). Dieses wird auch als „treibende Kraft der Transpiration“ bezeichnet. Bei niedrigem D findet die Photosynthese bei geringem Wasserdampfverlust, d.h. niedriger Transpiration statt. Kann unter hohem D die Wassernachleitung aus Boden und Pflanze dem höheren Verdunstungsanspruch nicht genügen, werden die Öffnungsweite der Stomata und die Photosynthese reduziert. Mit den Klimaänderungen steigt das Sättigungsdefizit der Luft und gewinnt als einschränkender Faktor der Pflanzenproduktion an Bedeutung (2). Auch der CO_2 -Düngeeffekt kann dadurch negativ beeinflusst sein (3).

Als Richtwert wurde ein maximaler D-Wert (D_{max}) von 1,5 kPa gewählt (berechnet mit Stationsdaten). Typischerweise wird D_{max} an trockenen Tagen nachmittags erreicht, wenn die Temperatur hoch ist und die Luftfeuchte absinkt.

Je nach Wasserhaushaltstypus reagieren Pflanzen unterschiedlich auf steigende D-Werte. In der Regel reagieren verholzte und krautige Pflanzen sensibler als Gräser mit einer Reduktion der stomatären Leitfähigkeit.

Zur Berechnung des Index wurden Phasen der meteorologischen Vegetationsperiode genutzt (4).

Lufttrockenheit-Index ($D_{\text{max}_{\text{VP}}}$) für die meteorol. Vegetationsperiode (VP):

$D_{\text{max}_{\text{VP}}} = \text{Anzahl Tage mit } D_{\text{max}} \geq 1,5 \text{ kPa}$

VP: April - September

VP I: April - Juni

VP II: Juli - September



Methodenblatt Klimaindizes für die Landwirtschaft

Pflanzenbau

Hitze

Verdorrungsrisiko von Jungpflanzen

Hohe Temperaturen im Frühjahr erhöhen das Verdorrungsrisiko von Jungpflanzen auf dem Acker, da die geringe Blattfläche und Wurzelentwicklung keine ausreichende Widerstandskraft gegen Überhitzung bieten. Eine Temperaturregulation über die Transpiration und Beschattung im Bestand fehlen noch weitgehend. Mit vermehrten Schäden an Jungpflanzen ist zu rechnen, wenn die **Maximaltemperaturen (Tmax)** in dieser Phase **25 °C** erreichen oder überschreiten (5). Die empfindlichste Phase reicht vom Auflaufen bis zum Beginn des Längenwachstums (BBCH 09 bis BBCH 30*).

Hitzeindex mit Temperaturschwelle von 25 °C für die Monate März, April, Mai:

H25 = Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 25 \text{ °C}$

Winterraps

Hohe Temperaturen während der Entwicklung von krautigen Ackerfrüchten können die Samenanlagen schädigen und zu geringeren Erträgen führen. Für Winter-raps ist die Schadensschwelle erreicht, wenn die **Maximaltemperaturen** in dieser Entwicklungsphase **29 °C** betragen oder überschreiten (6). Die empfindlichste Phase reicht vom Blühbeginn bis Ende der Blüte (BBCH 61 bis BBCH 69).

Hitzeindex mit Temperaturschwelle von 29°C für die Monate April, Mai, Juni:

H29 = Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 29 \text{ °C}$

Winterweizen und Wintergerste

Hohe Temperaturen während der Blüte und Kornentwicklung von Getreide können die Kornanlagen schädigen, wodurch weniger Körner zur Reife gelangen. Für Winterweizen bzw. Wintergerste werden Schäden beobachtet, wenn die **Maximaltemperaturen** in dieser Zeit den Schwellenwert von **27 °C** bzw. **31 °C** erreichen oder überschreiten (6). Die empfindlichste Phase reicht vom Blühbeginn bis zur Entwicklung der ersten Körner (BBCH 61 bis BBCH 71).

Hitzeindizes mit Temperaturschwellen von 27 °C (Winterweizen) bzw. 31 °C (Wintergerste) für die Monate April, Mai, Juni:

H27 = Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 27 \text{ °C}$

H31 = Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 31 \text{ °C}$

Mais

Extrem hohe Temperaturen während der Entwicklung von Mais können die Kornanlagen schädigen und zu geringeren Erträgen führen. Die Schadensschwelle ist erreicht, wenn die **Maximaltemperaturen** in dieser Phase **34 °C** betragen oder überschreiten (6). Die empfindlichste Phase reicht vom Beginn bis Ende der Blüte (BBCH 61 bis BBCH 69).

Hitzeindex mit Temperaturschwelle von 34 °C für die Monate Juni, Juli, August:

H34 = Anzahl Tage mit $T_{max} \geq 34 \text{ °C}$

*) BBCH: Pflanzliche Entwicklungsstadien nach dem gemeinsamen Standard von Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie



Methodenblatt Klimaindizes für die Landwirtschaft

Pflanzenbau

Frost

Frostschäden

Mit Frostschäden ist zu rechnen, wenn die **Minimumtemperaturen (Tmin)** den Schwellenwert von **0 °C** erreichen oder unterschreiten (5). Im Frühjahr kann das besonders an jungen, ungeschützten und noch wenig widerstandsfähigen Kulturen zu Frostschäden führen. Ebenso gefährdet sind Knospenaustriebe von Dauerkulturen wie Obstbäume oder Weinreben. Hinzu kommt, dass die im Mittel steigenden Temperaturen eine Verfrühung der Pflanzenentwicklung um mehrere Wochen verursachen. **Spätfröste** sind daher in Relation zum Stadium der Pflanzenentwicklung zu bewerten und fallen typischerweise in die Monate April und Mai.

Allgemeiner Frostindex mit Temperaturschwelle von 0 °C für die Monate April und Mai:

$F_0 = \text{Anzahl Tage mit } T_{\min} \leq 0 \text{ °C}$

Kartoffeln

Mit flächendeckenden Frostschäden im Frühjahr ist zu rechnen, wenn die Minimumtemperaturen deutlich unter 0 °C sinken. Zum Beispiel erhöht sich das Schadenspotenzial für Kartoffeln, wenn die **Minimumtemperaturen** den Schwellenwert von **-4 °C** erreichen oder unterschreiten (6). Unter diesen Bedingungen ist generell mit Schäden an Feldfrüchten, Gemüse und Dauerkulturen zu rechnen.

Frostindex mit Temperaturschwelle von -4 °C für die Monate April und Mai:

$F_{-4} = \text{Anzahl Tage mit } T_{\min} \leq -4 \text{ °C}$

Körnermais

Mit dem zunehmend wärmeren Klima werden auch Kulturen angebaut, die relativ spät zur Reife gelangen. Auftretender **Frühfrost** kann daher deren Erntegut schädigen. Zum Beispiel erhöht sich das Schadenspotenzial für Körnermais, wenn zur Reifezeit **Minimumtemperaturen** von **-2 °C** erreicht oder unterschritten werden (7). Die empfindliche Phase betrifft besonders den Beginn der physiologischen Reife und die Vollreife (BBCH 87 bis BBCH 89).

Frühfrostindex mit Temperaturschwelle von -2 °C für die Monate September und Oktober:

$F_{-2} = \text{Anzahl Tage mit } T_{\min} \leq -2 \text{ °C}$

Wechselfrost

Eine mögliche Entwicklung ist die Zunahme von kurz aufeinanderfolgenden Frost- und Auftauperioden. Offener Boden und wenig ausgebildete Frosthärte können zu Schäden an Winterkulturen führen, vor allem auch an den Pflanzenwurzeln.

Wechselfrost tritt auf, wenn **Temperatur-extreme** von etwa **-3 °C** und **+3 °C** am selben Tag auftreten (6).

Wechselfrost mit Temperaturminima bzw. -maxima von -3 °C bzw. +3 °C am selben Tag für die Monate Februar, März und April:

$T_{\min} \leq -3 \text{ °C und } T_{\max} \geq +3 \text{ °C}$



Methodenblatt Klimaindizes für die Landwirtschaft

Pflanzenbau

Kälte

Wärmeliebende Kulturen

Mit ansteigenden mittleren Temperaturen eignet sich unser Klima immer mehr für den Anbau wärmeliebender Kulturen aus südlichen Breiten. Wie bei einheimischen Kulturen auch, sind die frühen Entwicklungsstadien besonders empfindlich. Bei den (sub-)tropischen Arten und Sorten können bereits **Minimumtemperaturen über dem Gefrierpunkt** zu Kälteschäden führen. Das Wachstum von **Mais** und **Soja** reagiert empfindlich gegenüber Minimumtemperaturen von **+10 °C** oder niedriger (7; 8).

Bei **Rispenhirse** liegt der Schwellenwert bei **+13 °C**, bei **Kichererbsen** um **+15 °C** im Juni (9).

Kälteindizes für die Monate April, Mai und Juni:

K10 = Anzahl Tage mit $T_{min} \leq +10\text{ °C}$

K13 = Anzahl Tage mit $T_{min} \leq +13\text{ °C}$

K15 = Anzahl Tage mit $T_{min} \leq +15\text{ °C}$

Tierhaltung

Hitze

Hitzestress von Tieren

Hohe Temperaturen belasten Tiere sowohl im Stall als auch auf der Weide. Hitzestress reduziert das Tierwohl und beeinträchtigt Gesundheit und Leistungsmerkmale. Im Stall muss für ausreichend Belüftung und Kühlung gesorgt werden. Der Hitzestress von Weidetieren findet meist weniger Beachtung und tritt vor allem auf, wenn sich die Tiere nicht in ausreichend Schatten oder in den Stall zurückziehen können. Zur Erkennung von Hitzestress wurden diverse Indizes entwickelt (10). Der **Thermal Humidity Index (THI)** kombiniert Lufttemperatur und relative Luftfeuchte.

Klimaindex für Hitzestress von Weidetieren:

$$THI = (1,8 \cdot T_a + 32) + [(0,55 - 0,0055 \cdot r_H) \cdot (1,8 \cdot T_a - 26)]$$

T_a : Lufttemperatur, °C

r_H : Relative Luftfeuchte, %

Leichter Hitzestress: $THI > 71$

Starker Hitzestress: $THI > 79$

Vereinfacht lässt sich aussagen, dass mit starkem Hitzestress ab Sommertagen mit $T_{max} \geq 25\text{ °C}$ gerechnet werden muss. Dabei ist zu beachten, dass die Temperaturen auf der Weide stärker variieren und höher sein können als an einer Wetterstation.



Methodenblatt Klimaindizes für die Landwirtschaft

Literatur

- (1) Deutscher Wetterdienst: Dokumentation Wachstumsbeginn Grünland.
https://www.dwd.de/DE/fachnutzer/landwirtschaft/dokumentationen/isabel/meinagrar_wachstumsbeginn.html
- (2) Novick, K.A. und 16 Ko-Autoren (2024) The impacts of rising vapour pressure deficit in natural and managed ecosystems. Plant Cell Environment 2024,1–29
- (3) Li, S. und 12 Ko-Autoren (2023) Vegetation growth due to CO₂ fertilization is threatened by increasing vapor pressure deficit. Journal of Hydrology 619 (2023) 129292
- (4) Bernhofer C., Franke, J., Fischer, S., Kirsten, L., Körner, P., Kostrowski, D., Prasse, H., Schaller, A., Donix, T. (2015) Analyse der Klimaentwicklung in Sachsen. Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (Hrsg.), Schriftenreihe des LfULG, Heft 3/2015
<https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/23868>
- (5) LIFE AgriAdapt (2019) Landwirtschaft und Anpassung. Nachhaltige Anpassung der europäischen Landwirtschaft an den Klimawandel. (Handbuch; LIFE15 CCA/DE/000072)
<https://agriadapt.eu/>
- (6) Söder, M. und 19 Ko-Autoren (2022) Klimawandelbedingte Ertragsveränderungen und Flächennutzung (KlimErtrag). Thuenen Working Paper 198
<https://www.thuenen.de/de/thuenen-institut/infothek/schriftenreihen/thuenen-working-paper/thuenen-working-paper-alle-ausgaben>
- (7) Deutsches Maiskomitee e.V.
<https://www.maiskomitee.de/Produktion/Anbau/Standortanspr%C3%BCche>
- (8) Deutscher Soja-Förderring
<https://www.sojafoerderring.de/anbauratgeber/>
- (9) Anbauhinweise Hirse, Kichererbsen
Ökolandbau: <https://www.oekolandbau.de/bio-in-der-praxis/oekologische-landwirtschaft/oekologischer-pflanzenbau/bio-anbausteckbriefe/>
Saatzucht Gleisdorf: https://www.saatzuchtgleisdorf.at/dateien/2024_hirse_anbauanleitung.pdf
Landwirtschaftliches Technologiezentrum Baden-Württemberg:
https://ltz.landwirtschaft-bw.de/site/pbs-bw-mlr-root/get/documents_E1695972533/MLR.LEL/PB5Documents/ltz_ka/Service/Schriftenreihen/Hinweise%20zum%20Pflanzenbau/Hinweise%20zum%20Pflanzenbau_Kichererbse.pdf
- (10) Pickert J., E. Hillmann, A. Behrendt, S. Ehler, M. Wegehenkel, O. Dietrich (2019) Hitzestressoren für die Weidehaltung in Nordostdeutschland im Jahre 2018. In: Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft (Hrsg.) 2019: Grünland 2050. Beiträge zur 63. Jahrestagung der Arbeitsgemeinschaft für Grünland und Futterbau, S. 121-124
https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/schriftenreihe/gruenland2050-63jahrestagungaggf_lfl-schriftenreihe.pdf

Kontakt

Dr. Barbara Köstner
TU Dresden, Professur für Meteorologie
E-Mail: meteorologie@tu-dresden.de



Projekt KlimaKonform: <https://klimakonform.uw.tu-dresden.de/>