

ZEPHYR2

Boden und Wasser in der Landwirtschaft

Ein Berechnungsmodell für Landwirte, Berater und Wissenschaftler in Praxis, Forschung und Lehre

Kurzanleitung und Handbuch



ZEPHYR2

Boden und Wasser in der Landwirtschaft

Ein Berechnungsmodell für Landwirte, Berater und Wissenschaftler in Praxis, Forschung und Lehre

Kurzanleitung

Sassnitz 2024

Aktualisierungsstand Dez. 2024

Programmentwicklung ZEPHYR2- Software

Ingenieurbüro BODEN u. BODENWASSER Dr. R. Michel, Bad Freienwalde und Sassnitz

Vertrieb

Ing. büro BODEN u. BODENWASSER

Dr. R. Michel

Waldmeisterstraße 24

18546 Sassnitz

rjmichel@t-online.de

038392 – 677474

www.zephyr-zwei.de



Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehmen wir keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

©2009,2024RickmannMichel

gefördert: nach § 6 Forschungszulagengesetz (FZulG) über Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FuE-Vorhaben) durch Bundesministerium für Bildung und Forschung (BmBF)



Allgemeines zur Nutzung von ZEPHYR2

Die vorliegende Kurzanleitung soll einen schnellen Einstieg in das Programm durch den Nutzer von ZEPHYR2 unterstützen. Es werden jedoch nicht alle Funktionalitäten beschrieben. Vor der ersten Nutzung von ZEPHYR2 wird empfohlen, sich mit dem **Handbuch** vertraut zu machen.

Hinsichtlich folgender wesentlicher Voraussetzungen zur Nutzung von ZEPHYR2

- Installation von ZEPHYR2
- Start des Programms
- Registrierung

wird auf das → **Handbuch zu ZEPHYR2 (Teil A)** verwiesen. Die dortigen Ausführungen sollten unbedingt zur Kenntnis genommen werden.

Eingaben einmalig (i.d.R.) zu Beginn der Nutzung von ZEPHYR2

Das

Anlegen von Schlägen im Schlagkatalog und die Zuordnung eines jeweils typischen Bodens,

die Einrichtung nutzerspezifischer Wetterquellen,

die Konfiguration der Landtechnik,

die Einschätzung der mechanischen Vorbelastung der Schläge sowie

das Konfigurieren der Quellen Wetterszenarien

erfolgen grundsätzlich nur einmalig nach Installation von ZEPHYR2, da auf diese Informationen in allen danach angelegten Projekten zurückgegriffen wird. In der Praxis werden hier aber gelegentlich weiterhin Eingaben/Änderungen erfolgen, z.B. wenn ein neuer Schlag in den Schlagkatalog aufgenommen wird oder wenn Änderungen in den Einstellungen erforderlich sind usw. Bestimmte Einstellungen, z.B. die Konfiguration der Quellen von Wetterszenarien, werden u.U. auch erst zu einem späteren Zeitpunkt notwendig, nämlich wenn entsprechende Berechnungen auch tatsächlich erfolgen sollen.

Vorgehen	Hinweise
<p>Anlegen von Schlägen und Zuweisung Böden</p> <p>Zum Anlegen von Schlägen im Schlagkatalog sind folgende Schritte notwendig:</p> <ul style="list-style-type: none">→ SCHLAG→ SCHLAGKATALOG→ Eingabe Schlagname, Schlaggröße (z.B. „Bergschlag“, 8 ha)→ zur Auswahl zugehöriger Boden mit Button KATALOG→ Auswahl des Bodens im Bodenkatalog (z.B. „mittelgründige Tieflehm Parabraunerde“, s. Anmerkungen)→ NEUE SCHLÄGE SPEICHERN	<p>die angelegten Schläge stellen Stammdaten dar, auf die bei Bedarf zurückgegriffen wird</p> <p>s. Handbuch, Kap. 4</p> <p>nach der Eingabe der Schläge können unter Beachtung nachstehender Hinweise für diese auch die Parameter der mechanischen Vorbelastung eingegeben und gespeichert werden (Handbuch Kap. 16.2.2.3)</p>

Vorgehen	Hinweise
<p>Zur Einrichtung nutzerspezifischer Wetterquellen, Konfiguration Landtechnik, Einschätzung der mechanischen Vorbelastung der Schläge, Einrichtung Quellen Wetterszenarien müssen Sie zunächst ein Projekt angelegt und in diesem einen Schlag eingerichtet haben (s. im folgenden Kapitel hierzu unter Anlegen und Konfigurieren eines Projektes); anschließend gelten nachstehende Einstellungen auch für alle später angelegten Projekte (bis evtl. erneut Änderungen an den Einstellungen vorgenommen werden)</p>	
<p>Einrichten von nutzerspezifischen Wetterquellen in ZEPHYR Die Einrichtung der Wetterdatenquellen erfolgt über folgende Schritte: → WETTER → WETTERQUELLEN VERWALTEN → Auswahl der einzurichtenden Quelle → Konfiguration der ausgewählten Quelle hierbei sind vor allem folgende Angaben zu machen (wobei einige Angaben für die gewählte Datenquelle voreingestellt sind und nur bei Bedarf geändert werden sollten):</p> <ul style="list-style-type: none"> ~ sofern es sich um Dateien handelt, die importiert werden sollen: Voreinstellung Verzeichnis der Datei ~ Verlässlichkeitsstatus der Quelle entspr. Kap. 8.3 ~ Eingabe Freischaltsschlüssel (nur Wetterdaten ftp-Server, s. Hinweise weiter hinten (Anlegen Projekt)) 	<p>s. Handbuch, Kap. 8.4</p>
<p>Konfigurieren Landtechnik Zur Einrichtung der Parameter von landtechnischen Geräten: → TECHNIK AUF DEM BODEN } oder Button LANDTECHNIK → TECHNIK } → Eingabe Parameter sowie (nach Möglichkeit/ sofern vorhanden) eines zugehörigen Bildes → Button PRÜFUNG PARAMETER → Button SICHERUNG (die Daten bzgl. des Gerätes werden gespeichert)</p>	<p>(sofern relevant) in der Liste sind die Parameter von 10 Geräten bereits eingerichtet; wählen Sie einzelne Einträge in der Liste aus und ersetzen Sie die Angaben (und das Bild) entsprechend Ihrer Technik (s. Kap. 16.1.2.2 Handbuch)</p>
<p>Einschätzung der mechanischen Vorbelastung der Schläge Zur Einrichtung der Parameter der Vorbelastung: → TECHNIK AUF DEM BODEN } o. Button VORBELASTUNG BODEN → VORBELASTUNG BODEN } → Eingabe Parameter; hierzu gibt es für einige Parameter je nach Datenhintergrund bzw. Einschätzung der Situation verschiedene Optionen → Button PRÜFUNG PARAMETER → Button SICHERUNG (die Daten bzgl. der eingestellten Vorbelastung werden gespeichert)</p>	<p>(sofern relevant) (s. Kap. 16.2.2.3 Handbuch)</p>
<p>Konfigurieren Quellen Wetterszenarien → WETTER → QUELLEN WETTERSZENARIEN → Auswahl der relevanten Quelle (meteorol. Station) bzw. Konfiguration einer neuen Quelle → Übernahme der Quelle, die für Szenarienberechnungen relevant</p>	<p>(sofern relevant) bitte lesen Sie zum Verständnis unbedingt die entsprechenden Ausführungen im Handbuch (Kap. 17)</p>

Eingaben einmalig im Jahr

Das Programm ZEPHYR2 ist grundsätzlich so angelegt, daß sich ein Projekt auf einen Betrieb in einem bestimmten Kalenderjahr bezieht. Das

Anlegen und Konfigurieren eines Projektes

muß also i.d.R. nur einmal im Jahr erfolgen, da hier die wesentlichen Grunddaten (Schläge, Pflanzenbestände) festgelegt werden, für die im jeweiligen Jahr im Landwirtschaftsbetrieb Berechnungen erfolgen sollen. In der Praxis kann es auch hier im laufenden Jahr noch zu Eingaben kommen, z.B. wenn ein zusätzlicher Schlag in das Projekt mit einbezogen werden soll.

Anmerkung: werden Berechnungen für verschiedene Betriebe vorgenommen, so sollte grundsätzlich im aktuellen Jahr für jeden Betrieb ein eigenes Projekt angelegt werden (Näheres s. hierzu im Handbuch).

Vorgehen	Hinweise
ein neues Projekt anlegen Ein neues Projekt wird wie folgt angelegt: → PROJEKT → NEUES PROJEKT → Eingabe des Projektnamen (am besten mit Jahresbezeichnung am Ende, z.B. „Melchendorf25“) → Einstellen des Projektjahres (sollen z.B. für 2025 Berechnungen erfolgen, so ist unbedingt „2025“ auszuwählen) → Button ERSTELLEN	s. Handbuch, Kap. 5.1 (Informationen zum Öffnen und Schließen vorhandener Projekte usw. s. Handbuch)
Schläge einschließlich jeweils zugehörigem Boden in das Projekt integrieren Ein Schlag wird wie folgt in das aktuelle Projekt integriert: → SCHLAG → SCHLAG IM PROJEKT EINRICHTEN → (mit SCHLÄGE IM PROJEKT können sie kontrollieren, welche Schläge bereits zum Projekt gehören) → Schlag auswählen → Button HINZUFÜGEN	s. Handbuch, Kap. 6.
Pflanzenbestand anlegen Ein Pflanzenbestand wird wie folgt angelegt: → PFLANZENBESTAND	s. Handbuch, Kap. 7.1

Vorgehen	Hinweise
<ul style="list-style-type: none"> → PFLANZENBESTAND EINRICHTEN → Bestandesbezeichnung eingeben (frei wählbar) → Auswahl der ersten Fruchtart → Festlegung Zeitraum (von – bis) , auf dem die Fruchtart auf dem Schlag (z.B. Saat bis Ernte) wächst → Auswahl des Standards, auf dem die Angaben zu der Frucht basieren → ggfs. analog für weitere Fruchtart(en) in zeitlicher Abfolge verfahren → Button EINRICHTEN 	<p>(zur Eingabe mehrerer Pflanzenarten zeitlich hintereinander im selben Jahr s. Handbuch, bzw. s. bei Bearbeitung Formular (selbsterklärend))</p> <p>bzgl. Pflanzen-Standards s. Handbuch</p>
<p>Den Pflanzenbestand einem oder mehreren Schlägen zuweisen</p> <p>Die Zuweisung von Pflanzenbeständen zu Schlägen geschieht folgendermaßen:</p> <ul style="list-style-type: none"> → SCHLAG → BESTAND ZUORDNEN → dem Schlag einen Bestand zuweisen → Button ÜBERNEHMEN 	<p>s. Handbuch, Kap. 7.2</p>
<p>Bei Nutzung des ftp-Server als Quelle täglicher Wetterdaten des DWD: Einrichtung des Stations- und Jahres- spezifischen Freischaltschlüssels</p> <p>Wenden Sie sich an den ZEPHYR2-Anbieter, um den Freischaltschlüssel der für Sie relevanten Station im aktuellen Jahr zu erhalten und gehen Sie anschließend wie folgt vor:</p> <ul style="list-style-type: none"> → WETTER → WETTERQUELLEN VERWALTEN → Auswahl der Wetterquelle; i.d.R. eine der Quellen „serv.....“ auswählen; die Einstellungen im Formular haben zu sein <ul style="list-style-type: none"> ~ Option „Daten aus dem Internet importieren“ ~ Format „Wetterdienst DWD-Server“ ~ Option „Werte sind ... Fremdmeßwerte“ → Button BEZEICHNUNG ÄNDERN → geben Sie hier einen sinnfälligen Namen ein, z.B. „serv_Erfurt_2025“ → Button EINSTELLUNGEN SPEICHERN → im erschienenen Formular: den übermittelten Freischaltschlüssel eingeben → Button ÜBERNEHMEN → es erfolgt Prüfung Freischaltschlüssel → Rücksprung in das aufrufende Formular → Button EINSTELLUNGEN SPEICHERN 	<p>(sofern relevant)</p> <p>die Nutzung dieser Variante ist in vielen Fällen empfehlenswert, da recht sicher (weil von ZEPHYR2-Anbieter permanent betreut), weiteres s. Kap. 8.5.2 im Handbuch</p>

Laufende Eingaben vor jeder Berechnung und Durchführung der Berechnungen

Im Jahresverlauf zu aktualisierende Daten

Vor jeder Berechnung sind i.d.R. die Wetterdaten zu aktualisieren, Anpassungen bzgl. der Pflanzenentwicklung vorzunehmen und ggfs. Angaben zur Bewässerung und zu Grundwasserständen einzutragen bzw. anzupassen.

Je nach angestrebter Auswertung der Ergebnisse sind evtl. Parameter der Landtechnik und der Vorbelastung des Bodens zu laden und evtl. zu präzisieren, Sickerpunkte sind zu markieren. Bei Szenarienberechnungen müssen vorab entsprechende Einstellungen vorgenommen werden.

Vorgehen	Hinweise
Vorbereitung der Berechnung	
<p>Eingabe von Wetterdaten</p> <p>a) Realwerte (Tageswerte meteorologischer Parameter)</p> <p>Beispiel: Import Daten DWD-Klimastationen vom ftp-Server:</p> <ul style="list-style-type: none"> → WETTER → WETTERDATEN HINZUFÜGEN → Datenquelle: Auswahl eingerichteter ftp-Server (z.B. „serv.....“) → Button WEITER → Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme den Zeitpunkt wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen) → nach Button WEITER lädt ZEPHYR2 die Wetterdaten vom ftp-Server → evtl. VORSCHAU durchführen (zur visuellen Kontrolle) → Button DATENIMPORT STARTEN → die Daten werden importiert 	<p>die Nutzung dieser Variante (Beispiel) ist in vielen Fällen empfehlenswert, da recht sicher (weil von ZEPHYR2-Anbieter permanent betreut), weiteres s. Handbuch Kap. 8.5.2;</p> <p>es bestehen jedoch weitere Möglichkeiten des Imports von Wetterdaten, wie der direkte Import von online-DWD- Daten von der DWD-web-Seite, der Import von Dateien bestimmter Formatierung und die Eingabe von Wetterdaten auf manuelle Weise s. Handbuch Kap. 8.5</p> <p>hinsichtlich der Niederschläge wird, da importierte Daten i.d.R. regionalen und keinen lokalen Bezug haben, eine manuelle Korrektur (evtl. auch Schlagbezogen) notwendig sein</p>

Vorgehen	Hinweise
<p>Eingabe von Wetterdaten</p> <p>b) Prognosewerte</p> <p>Variante 1: manuelle Eingabe von Pognosewerten, i.d.R. ab ‚heute‘ über einen sinnvollen Zeitraum, z.B. 5 Tage</p> <p>→ WETTER } o. Button WETTERDATEN → WETTERDATEN BEARBEITEN } BEARBEITEN → nach Erscheinen Tabelle: Button ERGÄNZEN/ÄNDERN</p> <p>→ tätigen Sie die erforderlichen Eingaben bzgl. der Wetterelemente und wählen Sie die Werteverläßlichkeit „Prognosen“ für die von Ihnen vorgesehene Anzahl von Tagen</p> <p>→ Button SPEICHERN</p> <p>→ usw.</p> <p>Variante 2: Übernahme von Werten der DWD-Wetterprognose aus dem Internet</p> <p>1. Einholen der DWD-Wetterprognose</p> <p>→ WETTER } o. Button WETTERPROGNOSE → WETTERPROGNOSE DWD } DWD → folgen Sie den Anweisungen →nach Einholung der Daten Abschluß mit Button WETTERPROGNOSE SCHLIEßEN UND DATEN FÜR BERECHNUNGEN VERFÜGBAR HALTEN</p> <p>2. Übernahme der eingeholten DWD-Wetterprognose als Teil der ZEPHYR2-Wetterdaten, mit denen die Bodenfeuchteberechnungen erfolgen sollen</p> <p>→ WETTER } o. Button WETTERDATEN → WETTERDATEN HINZUFÜGEN } HINZUFÜGEN → Datenquelle: DWD-Prognosedaten → WEITER → Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme den Zeitpunkt wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen) → nach Button WEITER übernimmt ZEPHYR2 die zuvor eingeholten Prognose-Wetterdaten → evtl. VORSCHAU durchführen (zur visuellen Kontrolle) → DATENIMPORT STARTEN → die Daten werden importiert</p>	<p>bzgl. ‚Potentielle Verdunstung (PET)‘ ist i.d.R. die Option „schätzen“ empfehlenswert</p> <p>Näheres zu den Daten, evtl. beabsichtigten Präzisierungen s. im Handbuch Kap. 8.5.7</p> <p>Anmerkung: für Pflanzenschutzbezogene Aussagen muß die DWD-Wetterprognose eingeholt werden!</p> <p>wenn Sie bei der Einholung der Wetterprognose (s. 1.) noch keine Korrekturen vorgenommen hatten, so ist dies nach dem Import (2.) möglich (z.B. wenn aus Ihrer Sicht die Niederschlags-Werte zu hoch/zu niedrig sind); rufen Sie hierzu die Tabelle auf (‚WETTERDATEN BEARBEITEN‘)</p>
<p>Parameter der Pflanzenentwicklung an die reale Entwicklung des Bestandes anpassen</p> <p>Termine der Pflanzenentwicklung werden wie folgt angepaßt:</p> <p>→ PFLANZENBESTAND } o. Button PFLANZENBESTÄNDE → PFLANZENBESTAND BEARBEITEN } BEARBEITEN</p> <p>→ Auswahl des relevanten Pflanzenbestandes</p> <p>→ Auswahl der Option TERMINE VERSCHIEBEN</p> <p>→ es erscheint das Fenster nach Abb. 7-4; die Termine können „angefaßt“ und zeitlich verschoben werden; an die Termine sind bestimmte Parameter der Pflanzenentwicklung gebunden (Stützstellen, z.B. Bedeckungsgrad, Höhe usw.). Diese Parameter/Stützstellenwerte verschieben sich entsprechend zeitlich auto-</p>	<p>s. Handbuch, Kap. 7.3</p> <p>(weitere Möglichkeiten der Anpassung von Pflanzenparametern an reale Entwicklungen s. Handbuch)</p>

Vorgehen	Hinweise
<p>matisch mit</p> <p>→ nach Button ÜBERNEHMEN berechnet sich der komplette Parametersatz für die betreffende Fruchtart im Bestand neu</p>	
<p>Grundwasserstände eingeben</p> <p>→ GRUNDWASSER</p> <p>→ GRUNDWASSER BEARBEITEN</p> <p>→ Auswahl des Schläges (nur für Schläge mit grundwasserbeeinflußten Böden möglich)</p> <p>→ Anklicken des untersten Datums</p> <p>→ Einstellen Datum</p> <p>→ Eingeben zugehöriger Grundwasserflurabstand (ganze cm)</p> <p>→ Button EINTRAG SPEICHERN</p>	<p>(sofern Boden-bezogen relevant)</p> <p>s. Handbuch, Kap. 9</p>
<p>Berechnungsmengen und -termine eingeben</p> <p>→ BEREGNUNG } o. Button BERECHNUNGSANGABEN</p> <p>→ BEREGNUNG BEARBEITEN }</p> <p>→ Schlag wählen</p> <p>→ Anklicken des untersten Datums</p> <p>→ Datum einstellen</p> <p>→ Art der Bewässerung auswählen (z.Zt. „Beregnung“ oder „Tropfbewässerung“)</p> <p>→ Bewässerungsmenge (Tagessumme) eingeben [in mm]</p> <p>→ Button EINTRÄGE SPEICHERN</p>	<p>(sofern relevant)</p> <p>s. Handbuch, Kap. 10</p>
<p>Die folgenden Punkte sind jeweils immer dann zu behandeln, wenn Ergebnisse entsprechender Auswertethemen angestrebt werden</p>	
<p>(neue) Sickerpunkte eingeben</p> <p>→ PFLANZENSCHUTZ U. STOFFVERLAGERUNG</p> <p>→ EINGABE SICKERPUNKTE</p> <p>→ folgen Sie unter Berücksichtigung folgender Hinweise den selbsterklärenden Eingabeaufforderungen des Formulars</p> <p>~ es versteht sich, daß das „Datum Eintrag (Beginn der Bewegung Punkt)“ innerhalb des Berechnungszeitraumes (i.d.R. begrenzt durch Zeitraum, für den Wetterdaten vorliegen) liegen muß, damit die Bewegung des Punktes berechnet werden kann</p> <p>~ bzgl. Option „Punkt setzt Bewegung aus dem Vorjahr fort (ja)“ muß auf die Ausführungen im Handbuch verwiesen werden</p>	<p>(relevant, wenn Ergebnisse zur Tiefenverlagerung des Sickerwassers dargestellt werden sollen, z.B. in Zusammenhang mit Ausbringung leichtlöslicher Dünger)</p> <p>Handbuch Kap. 14.1</p>
<p>Auswahl Landtechnik</p> <p>→ TECHNIK AUF DEM BODEN } o. Button LANDTECHNIK</p> <p>→ TECHNIK }</p> <p>→ Auswahl Maschine aus dargestellter Liste</p> <p>→ bei Erfordernis Anpassung Parameter</p> <p>→ Button PRÜFUNG PARAMETER</p> <p>→ Button WEITER MIT EINGESTELLTEN PARAMETERN</p>	<p>(relevant, wenn Ergebnisse zur Befahrbarkeit und zur Verdichtungsgefährdung des Bodens erzielt werden sollen)</p> <p>Handbuch Kap. 16.1.2.2</p> <p>an dieser Stelle besteht Option zur Sicherung Parameter in Datenbank</p>

Vorgehen	Hinweise
<p>Einstellen der (mechanischen) Vorbelastung des Schlages</p> <p>→ TECHNIK AUF DEM BODEN } o. Button VORBELASTUNG BODEN → VORBELASTUNG BODEN }</p> <p>→ sofern für den Schlag bereits Kennwerte der mechanischen Bodenbelastung vorliegen, wird dies im Formular mitgeteilt; i.d.R. sollten in diesem Fall diese Daten geladen werden</p> <p>→ Eingabe Parameter bzw. ggfs. Anpassung/Korrektur der dargestellten Parameter; hierzu gibt es für einige Parameter je nach Datenhintergrund bzw. Einschätzung der Situation verschiedene Optionen</p> <p>→ Button PRÜFUNG PARAMETER</p> <p>→ Button WEITER MIT EINGESTELLTEN PARAMETERN</p>	<p>(relevant, wenn Ergebnisse zur Verdichtungsgefährdung des Bodens erzielt werden sollen)</p> <p>Handbuch Kap. 16.2.2.3</p> <p>an dieser Stelle besteht Option zur Sicherung Parameter in Datenbank</p>
Durchführung der Berechnung	
<p>Vorbereitung Berechnung und Prüfung Vollständigkeit der Daten</p> <p>nachstehend wird in dieser Kurzanleitung ausschließlich folgende Variante der Bodenfeuchtesimulationsrechnung behandelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - die Berechnungen erfolgen für jeden Schlag separat - die Berechnungen starten mit Bodenfeuchte-Option „Boden hat Feldkapazität“ <p>(hinsichtlich anderer Optionen s. rechts)</p> <p>→ Button BERECHNUNG - DETAILS EINRICHTEN UND AUSFÜHREN</p> <p>→ im erscheinenden Formular „Einschalten“ des Schlages (Button), für den die Berechnungen erfolgen sollen → es wird ein schneller Überblick verfügbar bzgl. der Datenlage; es kann geprüft werden, ob die notwendigen Daten zur Durchführung einer Berechnung vorliegen („Ampel“ muß auf „grün“ oder auf „gelb“ stehen, sonst müssen zunächst fehlende Angaben ergänzt werden)</p> <p>→ sind Sickerpunkte für den Schlag eingerichtet → Häkchen setzen, wenn die Berechnung der Tiefenverlagerung der Sickerpunkte erfolgen soll</p>	<p>s. Handbuch, Kap. 11.1, 11.2</p> <p>(weitere mögliche Einstellungen – insbesondere zum Berechnungszeitraum, zur Startbodenfeuchte, Berechnung als Set für alle Schläge → s. Handbuch)</p>
<p>Start der Berechnungen</p> <p>→ Button BERECHNUNG SCHLAG STARTEN</p> <p>ZEPHYR2 führt die Berechnung durch, anschließend stehen die Ergebnisse zur Verfügung</p>	<p>s. Handbuch, Kap. 11.3</p>
<p>wenn zusätzlich Szenarioberechnungen für den Schlag erfolgen sollen, so bleiben Sie nach Ende der durchgeführten Berechnung im gleichen Formular (bzgl. Szenarien s. Folge-Punkt)</p>	

Vorgehen	Hinweise
<p>Der folgende Punkt wird relevant, wenn die Bodenfeuchteberechnungen zusätzlich zum gängigen Verfahren (basierend auf Wetterdaten mit Realwerten und Prognosewerten) auch als Szenario (d.h.: an Zeitraum mit Realwerten und Prognosewerten des Wetters schließt ein Wetterszenario an, zeitlich bis max. Ende Kalenderjahr) erfolgen sollen. Parallel können bis zu drei Szenarien berechnet werden (z.B. Normalbedingungen hinsichtlich Niederschlag sowie feuchte und trockene Bedingungen bestimmter Wahrscheinlichkeit).</p> <p>Nachstehend wird exemplarisch das Vorgehen für den Fall „Berechnung 1 Szenario, basierend auf Mittelwerten des Niederschlags der ausgewählten Station“ aufgezeigt (bzgl. der ausgewählten Station s. vorn Konfigurieren Quellen Wetterszenarien).</p>	
<p>Konfiguration und Durchführung der Szenarioberechnung:</p> <p><i>(Voraussetzung: Vorliegen einer durchgeführten Berechnung des Schlages basierend auf aktuell gültigen Wetterdaten mit Realwerten und Prognosewerten (Ampel Schlag dunkelgrün); an die Ergebnisse dieser Berechnung schließt die Szenarioberechnung an)</i></p> <p>→ Button SZENARIEN EINSTELLEN UND BERECHNEN im erscheinenden Formular „Vorgabe Daten der Szenarien“</p> <p>→ Wahl Registerkarte „Szenario 1“</p> <p>→ Einstellung Endzeitpunkt Szenario (immer letzter Tag im Monat)</p> <p>→ Button ►</p> <p>(die vom System ausgewiesene Niederschlagssumme ist für den hier als Beispiel behandelten Fall (mittlere Niederschlagsbedingungen) auch der relevante Niederschlagswert; die Verdunstungsoption „normal“ kann ebenfalls beibehalten werden)</p> <p>→ Button ►</p> <p>→ Häkchen bzgl. BERECHNUNG ANWEISEN</p> <p>→ Button EINSTELLUNGEN SZENARIO ÜBERNEHMEN</p> <p>bzgl. Szenario 1 nimmt ZEPHYR2 Eintragungen in Tabelle vor</p> <p>→ Button FERTIG UND START SZENARIEN</p> <p>ZEPHYR2 führt die Berechnungen durch, anschließend stehen die Ergebnisse zur Verfügung</p>	<p>s. Handbuch Kap. 17</p> <p>bzgl. des fachlichen Hintergrunds und der weiteren Optionen und Nutzungsmöglichkeiten muß auf das Handbuch verwiesen werden (das links beschriebene Vorgehen behandelt nur ein Beispiel)</p>
Berechnungsergebnisse (Ergebnisdarstellung)	
<p>Ergebnisse der Berechnungen nach Durchführung der Berechnungen verfügbar; welche Ergebnisse darstellbar sind, hängt entsprechend Vorbereitung und Durchführung der Berechnungen von den vorgenommenen Einstellungen und genutzten Optionen ab;</p> <p>bei Nutzung aller Möglichkeiten können für den jeweiligen Schlag folgende Fälle ausgewertet werden:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fall1: Ergebnisse auf Basis Wetterdaten Realwetter u. Prognose - Fall 2 bis 4: wie Fall 1 mit daran anschließendem Wetterszenario 1, 2 bzw. 3; <p>inhaltlich sind bei Nutzung aller Möglichkeiten je vorgenannten Fall darstellbar:</p> <p>→ BODENFEUCHTE UND PFLANZENWASSERVERSORGUNG ALS ÜBERSICHT (Button)</p> <p>→ BEREGNUNGSBEDARF (Button), nur für Fall 1 (s.o.)</p> <p>→ VERSICKERUNG UND STOFFVERLAGERUNG (Button)</p> <p>→ BODEN, WETTER UND WIRKSAMKEIT PFLANZENSCHUTZMITTEL, nur Fall 1 (s.o.)</p> <p>→ BEFAHRBARKEIT BODEN (Button)</p> <p>→ VERDICHTUNGSGEFÄHRDUNG BODEN (Button)</p>	<p>bzgl. umfassender Beschreibung der dargestellten Ergebnisse sowie Hinweisen zur Interpretation</p> <p>s. Handbuch, Teil E, Kap.13 bis 16</p>



ZEPHYR2

Boden und Wasser in der Landwirtschaft

Ein Berechnungsmodell für Landwirte, Berater und
Wissenschaftler in Praxis, Forschung und Lehre

Handbuch

Rickmann Michel, Sassnitz Dez. 2024

ZEPHYR2

Sassnitz 2024
Aktualisierungsstand Dez. 2024

Programmentwicklung ZEPHYR2- Software
Ingenieurbüro BODEN u. BODENWASSER Dr. R. Michel, Bad Freienwalde und Sassnitz

Vertrieb

Ing. büro BODEN u. BODENWASSER
Dr. R. Michel
Waldmeisterstraße 24
18546 Sassnitz
rjmichel@t-online.de
038392 – 677474
www.zephyr-zwei.de



Haftungshinweis:

Trotz sorgfältiger inhaltlicher Kontrolle übernehmen wir keine Haftung für die Inhalte externer Links. Für den Inhalt der verlinkten Seiten sind ausschließlich deren Betreiber verantwortlich.

©2009,2024RickmannMichel

gefördert: nach § 6 Forschungszulagengesetz (FZulG) über Forschungs- und Entwicklungsvorhaben (FuE-Vorhaben) durch Bundesministerium für Bildung und Forschung (BmBF)



TEIL A. Einleitung

1	Beschreibung ZEPHYR2.....	5
2	Inhalt der Lieferung von ZEPHYR2	9
3	Einrichtung und Voraussetzungen zur Nutzung von ZEPHYR2	9
3.1	Installation von ZEPHYR2.....	9
3.2	Start von ZEPHYR2.....	10
3.3	Registrierung.....	10
3.4	Erweiterungen laden	10
3.5	Sicherheitsupdates von Daten	11
3.6	Fehlermeldungen	11

Teil B. Grundstruktur des Modells ZEPHYR2

Teil C. Berechnung der Bodenfeuchtedynamik - Die Grundlage der Anwendung von ZEPHYR2

4	Anlegen von Schlägen im Schlagkatalog und Zuordnung eines jeweils typischen Bodens	15
5	Projekte anlegen und konfigurieren	19
5.1	Projekt anlegen	19
5.2	Projekte schließen, öffnen, löschen.....	20
6	Schläge einschließlich jeweils zugehörigem Boden in das Projekt integrieren	20
7	Einen Pflanzenbestand anlegen und Änderungen im Bestand vornehmen	22
7.1	Einen Pflanzenbestand anlegen	23
7.2	Den Pflanzenbestand einem oder mehreren Schlägen zuweisen.....	24
7.3	Änderungen im Pflanzenbestand vornehmen.....	25
7.3.1	Parameter Übersicht	26
7.3.2	Termine Pflanzenentwicklung anpassen.....	26
7.3.3	Parameterwerte der Pflanzenentwicklung ändern.....	27
7.3.4	Besondere Maßnahmen im Pflanzenbestand durchführen.....	30
7.3.5	Eigene Pflanzenstandards setzen	30

8	Wetterdaten in das Projekt integrieren	32
8.1	Relevante Wetterdaten und ihre Bedeutung	32
8.1.1	Niederschläge N	32
8.1.2	Wetterparameter zur Berechnung der potentiellen Verdunstung PET	33
8.2	Kurzcharakteristik der Möglichkeiten zur Übernahme von Wetterdaten	34
8.3	Verlässlichkeitsstatus von Wetterdaten	35
8.4	Einrichten von ZEPHYR auf nutzerspezifische Wetterquellen	35
8.5	Eingabe von Wetterdaten	36
8.5.1	Manuelle Eingabe	36
8.5.2	Import Daten DWD-Klimastationen vom FTP-Server (über Server Ihres Anbieters ZEPHYR2) ...	38
8.5.3	Import von Niederschlag N und Potentieller Verdunstung PET (Tageswerte) über eine Textdatei im CSV- Format (Bezeichnung Datenquelle: CSV DATEI N+PET)	39
8.5.4	Import von Niederschlag N und Daten zur Berechnung Potentieller Verdunstung PET (Grunddaten Temperatur, Strahlung usw.) über eine Textdatei im CSV- Format (Bezeichnung Datenquelle: CSV DATEI N+Temp+)	40
8.5.5	Frei verfügbare Daten des Deutschen Wetterdienstes DWD	41
8.5.6	DLR Wetterdaten	42
8.5.7	Eingabe oder Import von Wetterprognosen	42
9	Flurnahe Grundwasserstände berücksichtigen	45
10	Bewässerung eingeben	46
11	Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik durchführen	47
11.1	Prüfung der Eingangsdaten	47
11.2	Vorbereitung der Berechnung	48
11.2.1	Festlegung Berechnungszeitraum	48
11.2.2	Festlegung der Startbodenfeuchte	48
11.3	Start der Berechnungen	51
12	Ergebnisse der Berechnung der Boden-feuchtedynamik (allgemeiner Teil)	52
12.1	Aufruf und Ausgabe der Ergebnisse	52
12.2	Inhalt der Darstellung der allgemeinen Ergebnisse Bodenfeuchtedynamik	53
12.2.1	Charakteristik von Randbedingungen und allgemeine Angaben zur Situation	53
12.2.2	Charakteristik von Bodenfeuchtesituation und Pflanzenwasserversorgung	53

Teil D. Entscheidungsrelevante Interpretation der Bodenfeuchtedynamik

13	Bewässerungsbedarf von Pflanzenbeständen (Berechnungsempfehlung)	57
13.1	Aufruf und Ausgabe Berechnungsempfehlung	57
13.2	Inhalt Darstellung in der Berechnungsempfehlung	58
13.2.1	Allgemeine Kennzeichnung des Berechnungsfalles.....	58
13.2.2	Charakteristik von Bodenfeuchtesituation und Pflanzenwasserversorgung als Grundlage der Einschätzung des Beregnungsbedarfes	58
14	Tiefenverlagerung von Sickerwasser und gelösten Stoffen im Boden.....	60
14.1	Festlegung von Sickerpunkten	61
14.2	Durchführung der Berechnung der Tiefenverlagerung Sickerpunkte.....	61
14.3	Aufruf Ergebnisse der Berechnung und Inhalt	62
15	Bodenfeuchte, Witterung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln	63
15.1	Grundlagen der Bewertung.....	63
15.1.1	Bewertungsansatz, Methode	63
15.1.2	Datengrundlage Bewertung	65
15.2	Durchführung und Interpretation der Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in Bezug zu Bodenfeuchte und Witterung	66
15.2.1	Einholung Wetterprognose und Berechnung Bodenfeuchtedynamik.....	66
15.2.2	Abruf der Bewertung des PSM-Einsatzes und Interpretation	66
16	Befahrbarkeit und Verdichtungsgefährdung des Bodens.....	68
16.1	Befahrbarkeit des Bodens in Bezug zu Technik und Bodenfeuchte	69
16.1.1	Kurzbeschreibung Bewertungsansatz Befahrbarkeit	69
16.1.2	Datengrundlage Bewertung	70
16.1.3	Abruf der Bewertung der Befahrbarkeit und Interpretation der Ergebnisse.....	72
16.2	Verdichtungsgefährdung des Bodens in Bezug zu seiner Vorbelastung sowie zu Technik und Bodenfeuchte	74
16.2.1	Kurzbeschreibung Bewertungsansatz Verdichtungsgefährdung.....	74
16.2.2	Datengrundlagen Bewertung.....	74
16.2.3	Abruf der Bewertung der Verdichtungsgefährdung des Bodens und Interpretation.....	80
17	Niederschlags- Szenarien im Rahmen der Bodenfeuchtesimulation mit ZEPHYR2	82
17.1	Zielstellung der Szenarien- Berechnungen.....	82
17.2	Datenhintergrund Niederschlag und Potentielle Verdunstung für Szenario Berechnungen	83
17.2.1	Optionen bzgl. des Datenhintergrunds	83
17.2.2	Konfiguration des Datenhintergrundes für Szenario- Berechnungen (Vorgehensweise).....	86

17.3	Durchführung Szenario- Berechnungen	88
17.3.1	Voraussetzungen und grundsätzliches Vorgehen	88
17.3.2	Konfiguration und Durchführung der Szenario- Berechnungen.....	89
	Literaturverzeichnis	93
	Abkürzungsverzeichnis.....	97

ANLAGEN

Teil A. Einleitung

1 Beschreibung ZEPHYR2

Das Programm ZEPHYR2 berechnet den Verlauf der Bodenfeuchtedynamik auf der Grundlage von Wetter-, Pflanzen- und Bodendaten sowie weiterer Informationen, z.B. zu Beregnung und Grundwasserstand (**Abbildung 1-1**).

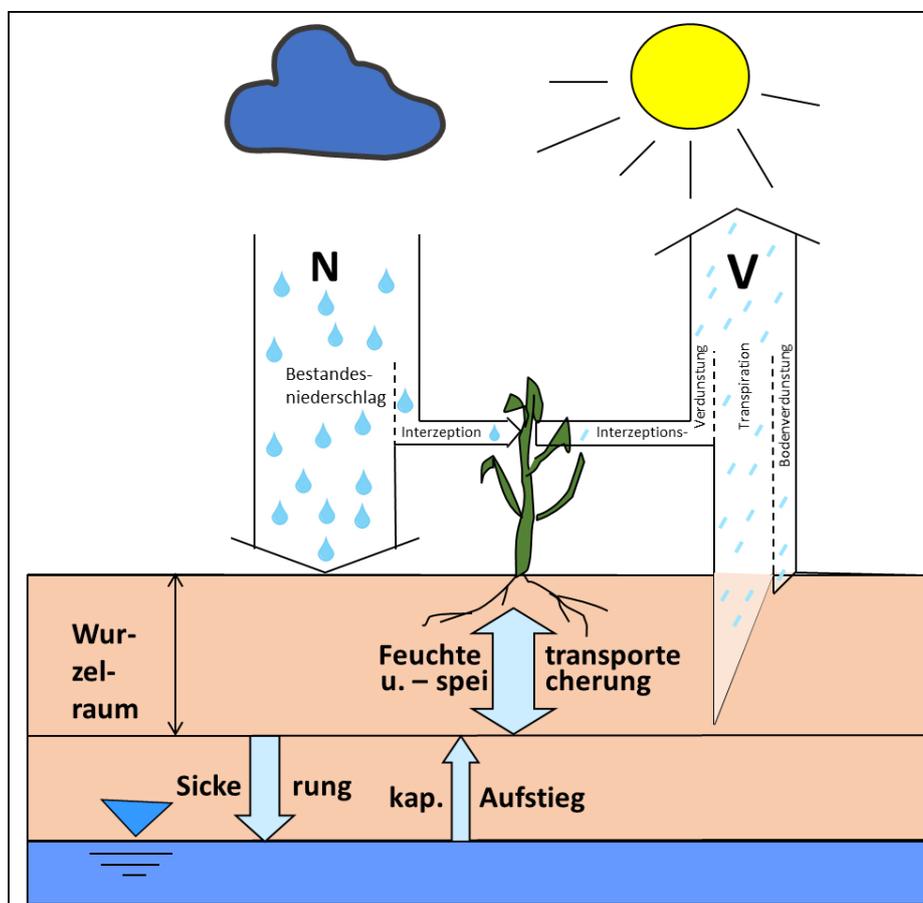


Abbildung 1-1. Der Wasserkreislauf eines Standortes als Grundprinzip der Berechnungen mit ZEPHYR2 (vereinfacht)

Zur Auswertung der Ergebnisse der Bodenfeuchteberechnung werden weitere Gegebenheiten, z.B. Eigenschaften der Landtechnik und von Pflanzenschutzmitteln, einbezogen. Das Programm wurde insbesondere für Landwirte entwickelt, die auf der Grundlage der Berechnungsergebnisse

- die Bodenfeuchtesituation und die Pflanzenwasserversorgung aktuell und auf absehbare Zeit einschätzen wollen, um die Bedingungen für weitere Maßnahmen (z.B. Düngung und Pflanzenschutz) besser einschätzen zu können
- den Einsatz ihrer Berechnungsanlage auf ökologisch fundierter Grundlage (d.h. angepaßt an Standort, Pflanzenbedarf und Witterung) steuern möchten
- beurteilen möchten, bis in welche Tiefe des Bodens sich das Wasser und z.B. N-Dünger nach einer vorherigen Düngung bewegt hat
- einschätzen möchten, wann je nach Wetter und Bodenfeuchte in den kommenden Tagen ein günstiger Zeitpunkt zum Einsatz eines bestimmten Herbizids und wie die Wirkungsbedingungen sind
- die Befahrbarkeit des Bodens aktuell und in den kommenden Tagen und die Verdichtungsgefährdung des Bodens bei Befahrung beurteilen wollen.

Die vorgenannten **Auswertethemen** von ZEPHYR2, die jeweils eine Bewertung der Bodenfeuchtedynamik im Kontext zu weiteren Faktoren (Wasseranspruch Fruchtart, Landtechnik, Pflanzenschutzmittel u.a.) darstellen, werden in entsprechenden Modulen des Programms behandelt.

Beim Einsatz in der Landwirtschaft liegen umfassende Erfahrungen vor – dies gilt vor allem für die Berechnungsberatung mit dem Vorgängermodell ZEPHYR. Auch in anderen Bereichen (z.B. Forstwirtschaft, innerstädtische Bepflanzungen, Deponien, Analyse Infiltrationsprozesse von Wasser in den Boden, Nieder- und Hochmoore) hat es, häufig auch in Zusammenhang mit wissenschaftlichen Untersuchungen, vielfältige Anwendungen gegeben (MICHEL: Zum Einsatz ..., 2008 ... 2023).

ZEPHYR2 verbindet zwei fundierte wissenschaftliche Ansätze zur Berechnung des Wasserhaushaltes eines Standortes. Für die Berechnung der Bodenfeuchtebewegung und Bodenfeuchtespeicherung wird die Differentialgleichung nach RICHARDS (siehe u.a. in CAMPBELL (1985), MICHEL u. SOURELL (2014)) eingesetzt. Die Berechnung des Wasserentzuges durch Pflanzen aus dem Boden und weiterer Wirkungen der Pflanzen erfolgt basierend auf den Ansätzen nach BOHNE u. KOITZSCH (1986), KOITZSCH u.a. (1977, 1980, 1990).

Berücksichtigung der Bodeneigenschaften in ZEPHYR2

Basis der Berechnungen sind schichtbezogene Bodenkennwerte und –funktionen nach v.GENUCHTEN (1980) und MUALEM (1976), welche die Eigenschaften des Bodens hinsichtlich Wasserspeicherung ($\Theta = f(h_\psi)$) und Wasserbewegung ($k=f(h_\psi)$) beschreiben (s. **Anlage 4** bzgl. fachlicher Erklärungen).

Die Schichtstärke der Bodenschichten ist an die Standortbedingungen anpaßbar. Das Modell rechnet intern (räumliche Diskretisierung) mit Schichten von ein Dezimeter Stärke. Der Boden wird bis in eine Tiefe von 18 Dezimeter betrachtet. Am unteren Rand wird entweder von einem freien Sickerwasserabfluß oder einem durch den Grundwasserstand bestimmten Potential ausgegangen, auch eine undurchlässige Schicht ist (sehr selten) als untere Randbedingung einstellbar.

Besonderheiten in den Standortbedingungen kann sich das Modell anpassen; das können z.B. sein

- das Auftreten von Stauschichten im Boden

- zeitlich wechselnder Grundwassereinfluß
- Zwischenspeicherung von Wasser an der Bodenoberfläche einschließlich Überstauung des Bodens.

Für sehr stark geneigte Standorte ist das Modell nur eingeschränkt geeignet, da – schon aufgrund der Verwendung von Tageswerten des Niederschlags - der Oberflächenabfluß nicht (bzw. nur manuell als Schätzwert) abgebildet wird.

Die bodenhydrologischen Werte sind ergänzt durch bodenmechanische Kennwerte (Vorbelastung), die sich an die standörtliche Situation anpassen lassen und die für die Bewertung der Verdichtungsgefährdung erforderlich sind (**Kapitel 16**).

Berücksichtigung der Pflanzeigenschaften in ZEPHYR2

Die Wirkung der Pflanzen auf die Bodenfeuchtedynamik wird über kulturartbezogen typische Kennwerte von Bodenbedeckung, Pflanzenhöhe, Durchwurzelungsverlauf, Wasseranspruch und Trockenheitsempfindlichkeit in verschiedenen Pflanzen- Entwicklungsstadien berücksichtigt; die Parameter wurden auf der Grundlage von Untersuchungen in Forschungseinrichtungen, der Einschätzung einzelner Experten und eigener Untersuchungen festgelegt (s. Quellenangaben in **Kapitel 7**).

Der Anwender kann diese Pflanzencharakteristika an seine Erfahrungen und an jahresspezifische Situationen stetig anpassen.

Berücksichtigung von Klima und Wetter in ZEPHYR2

Die im Modell ZEPHYR2 verwendeten Witterungsdaten (Niederschlag, Verdunstung, Temperatur...) können unterschiedlicher Art sein: Meßwerte (i.d.R. importiert) für einen zurückliegenden Zeitraum, Wetterprognosen (meist aus dem Internet oder als subjektive Einschätzung des Nutzers) für einige Tage sowie evtl. Szenarien unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit für einige Wochen oder Monate. Grundsätzlich finden Tageswerte der Wetterelemente Verwendung, hinsichtlich der Wetterprognose für bestimmte Probleme (Pflanzenschutz) Stundenwerte. Es versteht sich, daß es zumeist sinnvoll ist, Meßwerte und Prognosewerte zeitlich in Kombination einzusetzen, bei Bedarf ergänzt durch ein sich anschließendes Szenario.

Berücksichtigung der Bewässerung in ZEPHYR2

Das Programm berücksichtigt die Bewässerung (Beregnung oder Tropfbewässerung) als Tageswerte.

Grundwasseranstau und -einstau als Bewässerungsvariante lassen sich über über die Eingabe zeitbezogener Grundwasserstände berücksichtigen.

Berücksichtigung der Landtechnik in ZEPHYR2

Für eine Beurteilung der Befahrbarkeit und der Verdichtungsgefährdung des Bodens sind im Modell neben Angaben zum Lasteintrag auch technische Parameter der (i.d.R.) landwirtschaftlichen Maschine einzugeben. Dabei handelt es sich um Kennwerte, die dem Fahrzeug- bzw. Reifenprospekt entnehmbar sind.

Berücksichtigung Spezifik von Herbiziden in ZEPHYR2

Eine Auswahl an Pflanzenschutzmitteln (zunächst Herbizide) wird in einem Katalog hinsichtlich der Eigenschaften beschrieben, welche den Kontext von Witterung und Bodenfeuchte zu potentieller Wirksamkeit des PSM bewertbar machen.

Die Berechnungsergebnisse von ZEPHYR2 zur Charakterisierung des Bodenwasserhaushaltes

Die Berechnungsergebnisse werden z.Zt. einheitlich als Tageswerte ausgegeben (für spezifische Bedingungen können in einer entsprechend konfigurierten Variante von ZEPHYR2 auch wesentlich kürzere Zeitabschnitte betrachtet werden (bis zu minimal etwa 10 sec)).

Für den Landwirt sind zur Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanzen insbesondere folgende Ergebnisse von Bedeutung

- Bodenfeuchte ausgewählter Bodenschichten [in ‚Prozent der nutzbaren Feldkapazität‘ (%nFK)]
- Bodenfeuchte zum Betrachtungszeitpunkt im aktuell durchwurzelten Bodenraum [in ‚Prozent der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum‘ (%nFK-We)] und Beurteilung des Wertes in Bezug zum augenblicklichen Wasseranspruch der Pflanze
- Kennwerte zum momentanen Verdunstungsstreß der Pflanzen [‚reale Verdunstung in Prozent der potentiellen Verdunstung‘ (AET / PET)]
- Versickerungsmenge/Grundwasserbildung bzw. kapillare Wassernachlieferung aus dem Grundwasser und aus tieferen Bodenschichten in [in mm]
- Veränderung der für die Pflanzen in unterschiedlichem Grad nutzbaren Bodenwasservorräte [in mm bzw. l/m²]
- notwendige Wassermengen [in mm], um die Pflanzen ausreichend zu versorgen bzw. um den Wasservorrat des Bodens auf gewünschte Zielwerte anzuheben.

Weitere Ergebnisse der Modellrechnungen, wie

- -Saugspannungsverläufe h_p aller Bodenschichten [in cm WS, entsprechend hPa]
- -Wassergehalte Θ aller Bodenschichten in [in Vol.-%].

sind für spezifische Auswertethemen von Relevanz.

Die Berechnungsergebnisse von ZEPHYR2 hinsichtlich der Auswertethemen

Hinsichtlich der einzelnen **Auswertethemen** (s. Aufzählung am Anfang dieses Kapitels) wird an dieser Stelle auf die Ausführungen in den entsprechenden Kapiteln verwiesen.

2 Inhalt der Lieferung von ZEPHYR2

Neben dem Simulationsmodell zur Bewässerungssteuerung ZEPHYR2 ist auf dem gelieferten Datenträger (z.B. USB-Stick) das vorliegende Handbuch (pdf) enthalten. In das Handbuch ist eine Kurzanleitung mit eingebunden. Diese Kurzanleitung soll einen schnellen Einstieg in das Programm und schnelleres Nachschlagen unterstützen. Es werden in der Kurzanleitung jedoch nicht alle Funktionalitäten beschrieben. Vor der ersten Nutzung von ZEPHYR2 bzw. beim Gewinnen erster Erfahrungen wird empfohlen, sich mit dem Handbuch vertraut zu machen.

Im Handbuch und in der Kurzanleitung sind Passagen, die als Handlungsanweisung/ Schrittfolgen angesehen werden können, grün hinterlegt.

Außerdem werden Hinweise mitgeliefert, die u.U. gegenüber diesem Handbuch aktueller sind; dies betrifft bei Übergabe von ZEPHYR2 insbesondere die Hinweise zur Installation und Registrierung des Programms.

3 Einrichtung und Voraussetzungen zur Nutzung von ZEPHYR2

3.1 Installation von ZEPHYR2

Bitte beachten Sie hinsichtlich der Installation von ZEPHYR2:

Das Vorgehen bei der Installation von ZEPHYR2 kann sich mit der Weiterentwicklung des Programms ändern. Die nachstehenden Hinweise im Handbuch mögen evtl. nicht dem letzten Stand entsprechen; der aktuelle – und damit für Sie gültige – Stand wurde Ihnen jedoch bei der Lieferung von ZEPHYR2 mit übergeben.

Der Stand bei Abfassung des Handbuches (s. Impressum) zur Installation von ZEPHYR2 ist:

- wenn ZEPHYR2 bereits auf Ihrem Rechner installiert wurde, so muß dieses vor Start der Neu-Installation unbedingt deinstalliert werden

- hinsichtlich der alten Vorgängerversion ZEPHYR besteht, falls sich diese auf Ihrem Rechner befindet, keine Notwendigkeit der Deinstallation; Sie können diese App bei Bedarf weiter nutzen;
- es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß ZEPHYR2 nicht auf Daten des alten ZEPHYR zurückgreift (beide App agieren völlig unabhängig voneinander)
- Sie können die Installation von ZEPHYR2 sowohl vom USB-Stick aus starten oder aber - was zu empfehlen wäre - den gesamten Inhalt (Ordner „ZEPHYR2_IhreApp“) auf Ihren Rechner kopieren und von dort die Installation starten
- zur Installation starten Sie bitte die App „INSTALLATION_ZEPHYR2.vbs“ im Ordner „ZEPHYR2_IhreApp\Hier_instal_Z2“ und folgen Sie den Anweisungen

Als Abschluß der Installation wird ZEPHYR2 i.d.R. gestartet. Ein Startsymbol wird auf dem Desktop abgelegt.

3.2 Start von ZEPHYR2

Mit dem Startsymbol wird ZEPHYR2 vom Desktop aus gestartet.

Sofern vom Programm z.B. Wetterdaten aus dem Internet bzw. von einem Server geladen werden sollen, muß der Internetzugang auf dem Rechner eingeschaltet sein und die Firewall muß die entsprechenden Zugriffe zulassen. Die Internetverbindung muß ebenfalls zur Registrierung (s. folgendes Kapitel) bestehen.

3.3 Registrierung

Bitte beachten Sie hinsichtlich der Registrierung von ZEPHYR2:

innerhalb von 30 Tagen nach der Installation von ZEPHYR2 muß die Registrierung abgeschlossen sein, andernfalls sperrt das Programm die weitere Nutzung.

Die Registrierung beginnen Sie wie folgt:

- Starten Sie ZEPHYR2
- wählen Sie im Menü-Punkt PROJEKT den Unterpunkt „PERSONALISIERTE NUTZUNG ZEPHYR2
- tragen Sie in BETRIEB die entsprechenden Angaben ein
- folgen Sie in PRODUKTAKTIVIERUNG den vorgegebenen Schritten und eingeblendeten Informationen; (Ihre Serien-Nr. wurde Ihnen mitgeteilt, die „0“ in der Nummer meint ggfs. „Null“ und nicht „O“ wie Ottokar)

3.4 Erweiterungen laden

In ZEPHYR2 stehen dem Nutzer zunächst eine begrenzte Palette von Daten hinsichtlich von

- Böden (Eigenschaften dieser Böden) und
- Pflanzen (Eigenschaften der Pflanzen)

zur Verfügung. Diese Palette kann ergänzt werden, z.B. im Zuge der Weiterentwicklung von ZEPHYR2, nach Beauftragung durch den Nutzer usw. Dies erfolgt in Absprache zwischen Nutzer und ZEPHYR2- Entwickler.

Nach Absprache zwischen Nutzer und Entwickler ist das Vorgehen zur Integration von Erweiterungen der Datenbasis zu Böden und Pflanzen durch den Nutzer wie folgt:

- der Nutzer erhält eine eMail mit der Erweiterungsdatei (und evtl. zusätzlich einen Schlüssel)
- Speichern der Erweiterungsdatei in ein vom Nutzer festgelegtes Verzeichnis
- PROJEKT
- ERWEITERUNGEN
- ERWEITERUNG LADEN
- Auswahl der gespeicherten Erweiterungsdatei
- INTEGRIEREN
- evtl. Eingabe des in der E-Mail mitgeteilten Schlüssels (an dieser Stelle oder voriger Schritt)

Anschließend wird die Erweiterungsdatei automatisch in das ZEPHYR2- System integriert und steht zur Verfügung

Achtung:

die Integration der Erweiterungsdatei kann einige Minuten dauern und sollte nicht unterbrochen werden!

3.5 Sicherheitsupdates von Daten

Es ist unter bestimmten Umständen sinnvoll, von der Datenbank, auf die ZEPHYR2 zugreift und in der auch die bisher erfolgten Eingaben des Nutzers gespeichert sind (Schlagkatalog, Daten der Landtechnik usw.), eine Sicherheitskopie zu machen. Das ist beispielsweise zu empfehlen, wenn der Nutzer von ZEPHYR2 die Anwendung auf einem neuen Rechner installieren möchte, weiterhin jedoch auf die bisher eingerichteten Daten zugreifen will.

Für diesen Zweck ist bisher in ZEPHYR2 noch keine Funktionalität eingerichtet. Wenden Sie sich in dieser Frage bitte an Ihren ZEPHYR2-Administrator, den Entwickler usw. – das weitere Vorgehen wird dann in Abstimmung erfolgen.

3.6 Fehlermeldungen

Das Programm ZEPHYR2 wurde umfassend getestet; dennoch ist nicht auszuschließen, daß Fehler auftreten. Der Entwickler möchte die Fehlermöglichkeiten minimieren, wozu er auch Informationen über während der Nutzung von ZEPHYR2 aufgetretene Fehler benötigt. Tritt während der ZEPHYR2- Nutzung ein Fehler auf, so wird automatisch eine Fehlerdatei erzeugt und auf dem Desktop abgelegt. Dies wird dem Nutzer angezeigt. Die Fehlerdatei kann z.B. als Anhang an eine E-Mail an den Entwickler von ZEPHYR2 verschickt werden. Anschließend oder auch, wenn der Nutzer keinen Versand der Fehlermeldung wünscht, kann die Datei vom Desktop gelöscht werden.

Teil B. Grundstruktur des Modells ZEPHYR2

ZEPHYR besteht aus folgenden Teilen, die Gesamtstruktur ist anhand in **Abbildung 3-1** verdeutlicht.

1. Schlagkatalog (einschließlich Bodenkatalog)

Der Schlagkatalog ist zunächst leer (bzw. nur mit einem Beispielschlag versehen) und wird vom Nutzer gefüllt. Er beinhaltet die Schläge (oder anders benannten Flächen), für die Berechnungen mit ZEPHYR2 erfolgen sollen. Jedem Schlag ist bei seiner Einrichtung ein charakteristischer Boden zuzuordnen.

Der Bodenkatalog ist Teil des Schlagkatalogs und besteht aus einer Anzahl Böden, welche die Bodenverhältnisse im Tiefland Deutschlands zu einem großen Teil repräsentieren, die der Gebirgsregionen bisher allerdings nur sehr eingeschränkt erfassen. Der Bodenkatalog wird auch in Zukunft erweitert werden.

2. Pflanzenkatalog (Fruchtarten)

Der Pflanzenkatalog beinhaltet zunächst eine begrenzte Zahl von Fruchtarten als Standards mit den für die Berechnungen notwendigen Parametern. Er wird vom Programmentwickler - wie auch in den zurückliegenden Jahren (ZEPHYR) – auch künftig erweitert. Außerdem kann der Nutzer für jede Fruchtart eine begrenzte Zahl eigener Unter-Standards setzen, die evtl. optimaler an den Wachstumsverlauf seiner Pflanzen angepaßt sind als die vorgegebenen Standards - z.B. hinsichtlich einer bestimmten Sorte innerhalb der Fruchtart.

3. Projekte

In den Projekten erfolgen die Berechnungen mit ZEPHYR2. Hier werden die dazu notwendigen Informationen zum Schlag (der Boden des Schlages), zum Pflanzenbestand, zur Witterung, zur Bewässerung, ggfs. zum Grundwasserstand usw. für ein bestimmtes Berechnungsjahr zusammengeführt. Das bedeutet, daß sich ein Projekt immer auf ein konkretes Jahr bezieht; die Berechnungen können jeweils vom 1. Januar bis 31. Dezember erfolgen; Berechnungen für Teile eines Jahres sind möglich, jedoch nicht über das Jahresende hinaus (Anmerkung: fortlaufende Berechnungen über mehrere Jahre sind jedoch mit Anschlußprojekten möglich, Näheres s. **Kapitel 11.2.2.3**).

Das Projekt beinhaltet typischerweise

- alle Schläge des Betriebes, für die in einem bestimmten Jahr Berechnungen erfolgen sollen
- jeder dieser Schläge ist gekennzeichnet durch einen zugehörigen Boden sowie für das konkrete Projektjahr durch einen Pflanzenbestand (eine oder hintereinander mehrere Fruchtarten), schlagspezifische Niederschläge, Bewässerungsangaben, ggfs. Grundwasserstände
- außer dem Niederschlag sind die meteorologischen Werte für alle Schläge des Projektes gleich (sonst müssen 2 Projekte angelegt werden)

4. weitere Parameter- Informationen i.S. von Katalogen

Für spezifische Auswertethemen existieren als Katalog Parametersätze in der Datenbank; dies sind

- Parameter von Landmaschinen: vorgesehen ist die Charakteristik von bis zu zehn Maschinen vor dem Hintergrund der Nutzung dieser Kennwerte bei der Bewertung von Befahrbarkeit und Verdichtungsgefährdung des Bodens; die Parameter der Maschinen werden vom Nutzer eingegeben und beziehen sich überwiegend auf verfügbare Daten (Reifenkatalog, technische Kennwerte der Maschine)
- Parameter von Pflanzenschutzmitteln (PSM): z.Zt. werden hier nur Herbizide erfaßt; im Vordergrund stehen Charakteristika der PSM, welche den Bezug zwischen Einsatz des PSM und Wetter sowie Bodenfeuchte beschreiben

5. laufende Informationen zu den aktuellen Randbedingungen

Die folgenden Randbedingungen beziehen sich auf zeitveränderliche Größen, welche für die Steuerung der Bodenfeuchtesimulation grundlegend sind:

- tägliche Wetterdaten unterschiedlicher Art (Realwerte aus eigenen oder Fremdmessungen, Prognosen, Schätzungen, aus Wetterszenarien unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit abgeleitete Werte)
- ggfs. Veränderungen des Grundwasserstandes bei Grundwasser- beeinflussten Böden
- Angaben zum Einsatz der Bewässerung

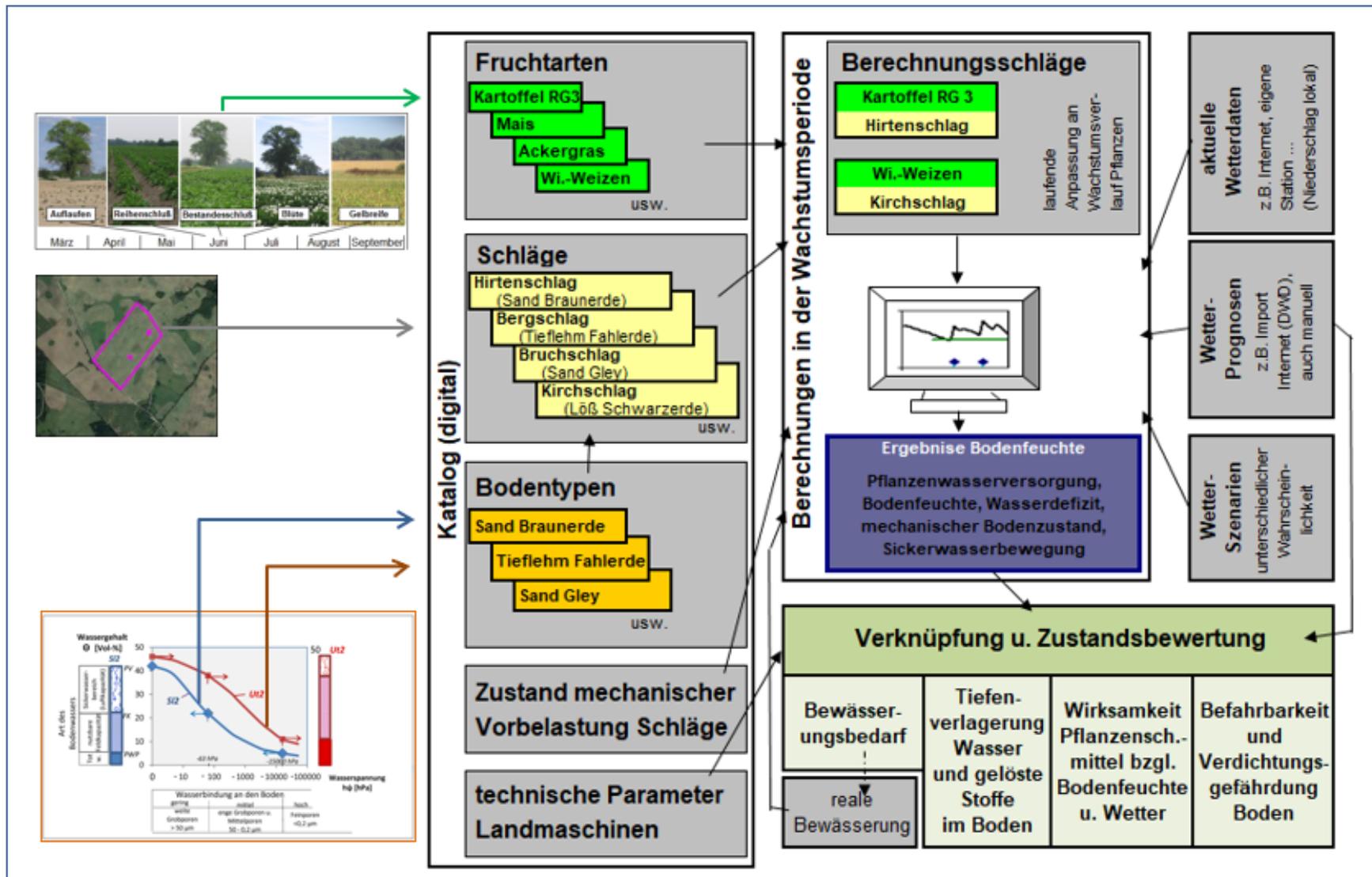


Abbildung 3-1. Grundstruktur von ZEPHYR2

Teil C. Berechnung der Bodenfeuchtedynamik

Die Grundlage der Anwendung von ZEPHYR2

4 Anlegen von Schlägen im Schlagkatalog und Zuordnung eines jeweils typischen Bodens

Der Schlagkatalog beinhaltet i.S. von Stammdaten die Schläge (i.d.R. eines Betriebes), für die Berechnungen mit ZEPHYR2 durchgeführt werden sollen. Jeder Schlag ist durch einen typischen Boden charakterisiert¹.

Bereits vor Durchführung der ersten Berechnung ist es notwendig, den für die Berechnung relevanten Schlag/ die relevanten Schläge im Schlagkatalog anzulegen.

Dieser Schlagkatalog kann später ständig erweitert werden (s. Bsp. in **Abbildung 4-1**).

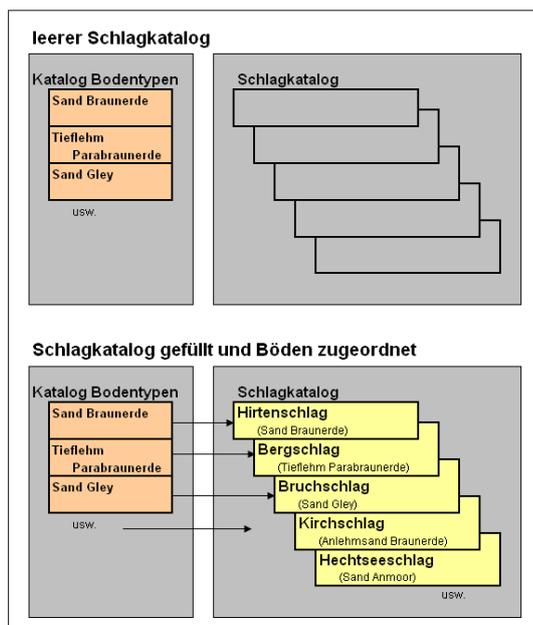


Abbildung 4-1. Füllen des Schlagkatalogs unter Zuordnung eines schlagtypischen Bodens

¹ wenn der Schlag von den Bodenverhältnissen her sehr heterogen ist und wenn dies in den Berechnungen Berücksichtigung finden soll, so sind evtl. zwei oder auch mehrere Schläge anzulegen; das würde auch gelten, wenn der Schlag hinsichtlich der Fruchtarten oder der Bewirtschaftung (z.B. Beregnung) geteilt wird

Zum Anlegen von Schlägen im Schlagkatalog sind folgende Schritte notwendig:

- SCHLAG
- SCHLAGKATALOG
- Eingabe Schlagname, Schlaggröße (z.B. „Bergschlag“, 8 ha)
- zur Auswahl zugehöriger Boden mit Button KATALOG
- Auswahl des Bodens im Bodenkatalog (z.B. „mittelgründige Tieflehm Parabraunerde“, s. Anmerkungen)
- NEUE SCHLÄGE SPEICHERN

Anmerkungen:

Die im Bodenkatalog verzeichneten Böden sind zunächst in Gruppen geordnet. Innerhalb der zutreffenden Gruppe ist ein bestimmter Bodentyp auszuwählen (s. **Abbildung 4-2**)

(z.B. gehört der Bodentyp „mittelgründige Tieflehm Parabraunerde“ zur Bodengruppe „lehmige, anhydromorphe Böden“).

Mit der Auswahl des Bodens werden die Bodenparameter (z.B. Wasserspeicher-Eigenschaften der Böden, Wasserleitfähigkeit) festgelegt → s. nähere Angaben im Folgenden

The screenshot shows a software interface for soil selection. On the left, a tree view shows the hierarchy of soil types, with 'mittelgründige Lehm Parabraunerde' selected. The main area displays the soil profile 'mittelgründige Lehm Parabraunerde' with a description: 'typischer, wahrsch. leicht erodierter Lehm-Boden'. Below this, it lists 'Typische Zuordnungen' (Typical assignments) including 'Mittelmaßst. Bodenkarte (MMK) D5a, in D4a, D3a' and 'Bodenkarte Deutschland Parabraunerde / Fahlerde / Pseudogley- Parabraunerde aus Geschiebelehm (Nr. 19, auch 26 u.a.)'. It also shows 'Bewertung*' (Rating) as 'recht sicher / Tiefland'. A table lists soil horizons: Ap(2) \ S13 (0-30cm), Bt \ Ls2,3 - L (30-70cm), and (Sd)Bt -> U \ Ls (D) (70-180cm). To the right, there is a 'Beispiel-Bild bzw. Kurzinfo' (Example image or short info) section with a photo of the soil profile and a text description: 'Unter einem lehmsandigen oder auch lehmigen Ap folgt oft direkt der lehmige Tonanreicherungshorizont Bt oder (wie hier) ein schmaler Übergangshorizont mit aufgeteilt, etwas tonverarmten Flecken (A1) im Bt. Der Boden ist oft sehr fruchtbar einschließlich hoher Wasserspeicherung, mitunter aber nicht (mehr) sehr tiefgründig (z.B. wenn in hängigen Moränegebieten an Oberhängen über lange Zeit Bodenmaterial erodiert wurde). Im Bt sind schwach ausgeprägte Stau- oder Haftnässe möglich.'

Abbildung 4-2. Darstellung eines Bodens im Bodenkatalog (hier: Bodentyp „mittelgründige Lehm Parabraunerde“ aus der Bodengruppe „lehmige, anhydromorphe Böden“, hier zugehörig zum Schlag 'GrFlot ToterMann Gr7')

Jeder Boden ist ausführlich beschrieben (**Abbildung 4-2**):

- allgemeine, zusammenfassende sowie erläuternde Charakteristika, z.T. einschließlich Bild
- Zuordnungen: hier ist auf unterschiedliche Bodenkartierungen (z.B. BK DEUTSCHLAND(1995), MMK (1982), BODENSCHÄTZUNGSGESETZ (1934)) bezogen beschrieben, in welchen Kartiereinheiten der Boden vorkommen kann (diese Zuordnung ist nur eine Entscheidungshilfe, da die

dargestellten Bodentypen sich i.d.R. nicht eindeutig bestimmten Kartiereinheiten zuordnen lassen)

- Bewertung: auf eigenen Erfahrungen der Entwickler beruhende Einschätzung der Qualität der Bodenparameter
- es folgt eine schichtweise Charakteristik der Böden, die folgende Charakteristika beinhaltet:
 - Bezeichnung von Horizont und Bodenart; diese sind angelehnt, aber nicht immer identisch mit der Darstellung in AG BODEN (2005)
 - eine beschreibende Charakteristik des Horizontes einschließlich der Bodenart
 - Hinweis auf die Quelle der zugehörigen Bodenparameter im Hintergrund (ausführliche Literaturquelle in der Legende (Button mit LITERATUR-SYMBOL))

Grundsätzlich ist das allgemeine Schema des Bodenaufbaus in der folgenden **Abbildung 4-3** charakterisiert. Ein Boden wird danach immer bis zu einer Gesamttiefe von 180 cm betrachtet. Jede Schicht kann unterschiedlich mächtig sein, jedoch in 10- cm- Schritten (also 10, 20, 30 cm usw.).

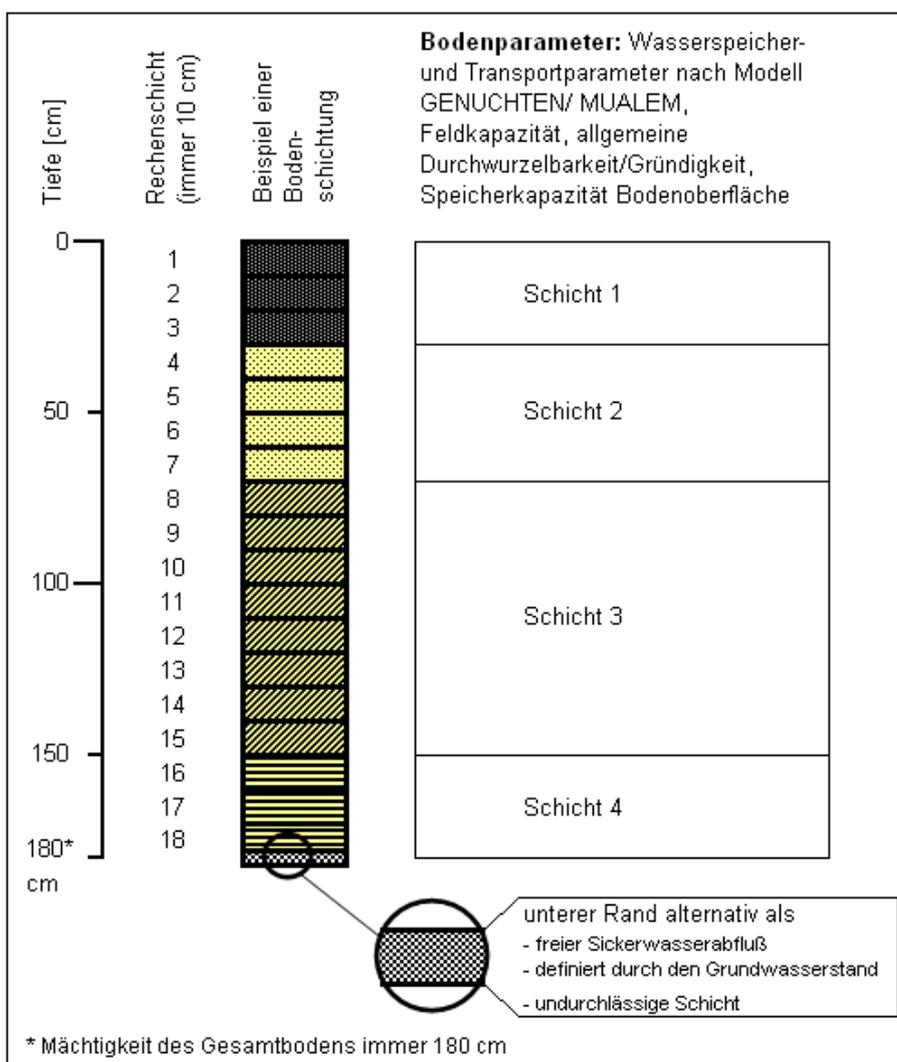


Abbildung 4-3. Allgemeines Schema des Bodenaufbaus in ZEPHYR2

Entsprechend der Bezeichnung der Schicht sind die zugehörigen Bodenparameter in der Datenbank hinterlegt.

Im einzelnen wurden die Parameter vor allem auf folgender Grundlage gebildet:

- Verlauf der „Saugspannungs- Sättigungsfunktion SSV“ ($\Theta = f(h_\psi)$) und Funktion „hydraulische Leitfähigkeit vs. Saugspannung“ ($k = f(h_\psi)$) in Bodenschichten: nach dem Modell von GENUCHTEN (1980), MUALEM (1976)
- die Parameter Feldkapazität FK, Permanenter Welkepunkt PWP und ξ (X_i), welche die Berechnung des Wasserentzuges durch die Pflanzen regulieren, wurden aus der Saugspannungs-Sättigungsfunktion (SSV) unter Berücksichtigung von VETTERLEIN (1985, 1989) abgeleitet

Folgende Parameter sind schichtweise hinterlegt (**Tabelle 4-1**)

Tabelle 4-1. Schichtbezogene Bodenparameter in ZEPHYR2 und hauptsächliche Quellen²

Parameter	Quellen
Sättigungswassergehalt Θ_s [-]	BOHNE ET AL. (1993), SCHINDLER ET AL. (2002, 2004)
gesättigte Wasserleitfähigkeit k_f [cm/s]	dgl.
Restwassergehalt Θ_r [-]	dgl.
Parameter l [-]	dgl.
Par. α [-]	dgl.
Par. n [-]	dgl.
Feldkapazität FK [-]	in Übereinstimmung mit Verlauf SSV und in Anlehnung an VETTERLEIN (1985) sowie nach AG BODEN (2005) ³
Permanenter Welkepunkt PWP [-]	dgl.
Par. ξ [-], d.i. Verdunstungsparameter XSI	nach BOHNE U. KOITZSCH (1986), KOITZSCH (1977)

Weiterhin sind für den Bodentyp als Ganzes u.a. folgende wesentliche Kennwerte hinterlegt:

- Charakteristik des unteren Randes: es wird unterschieden
 - freier Sickerwasserabfluß am unteren Rand
 - der Grundwasserstand definiert den unteren Rand
 - undurchlässige Schicht am unteren Rand
- bei grundwasserbeeinflussten Böden ist ein mittlerer Grundwasserflurabstand hinterlegt (s. Angabe in der Bodenlegende)
- der Grundwasserflurabstand kann unter dem Menüpunkt GRUNDWASSER dem realen Jahresverlauf angepaßt werden (s. **Kap. 9**)

² in der Tabelle sind die Quellen genannt, die für die meisten im Katalog enthaltenen Böden den Parameter-Hintergrund bilden; für einige Böden gelten andere Quellen, in manchen Fällen liegen gemessene Funktionen zugrunde, was jeweils bei der Beschreibung der Böden in ZEPHYR2 entsprechend **Abbildung 4-2** angegeben ist

³ s. **Anlage 3** bzgl. unterschiedlicher Ansätze zur Festlegung FK (VETTERLEIN bzw. AG BODEN, beide finden in ZEPHYR2 Anwendung)

- es erfolgt eine allgemeine Einschätzung des Bodens nach seiner Gründigkeit in „flachgründig“, „mittelgründig“ und „tiefgründig“ – diese Einschätzung bewirkt, daß bei der Festlegung der täglichen Durchwurzelung in den Berechnungen auf eine entsprechende fruchtartenbezogene Verlaufskurve zugegriffen wird; somit ist der Durchwurzelungsverlauf auf einem Schlag von Pflanzenart und Boden bestimmt.

5 Projekte anlegen und konfigurieren

In den Projekten erfolgen die eigentlichen Berechnungen mit ZEPHYR2. Hier werden die dazu notwendigen Informationen zum Schlag (der Boden des Schlages), zum Pflanzenbestand, zur Witterung, zur Bewässerung, ggfs. zum Grundwasserstand für ein bestimmtes Berechnungsjahr zusammengeführt. Das bedeutet, daß sich ein Projekt immer auf ein konkretes Jahr bezieht, die Berechnungen können jeweils vom 1. Januar bis 31. Dezember erfolgen; Berechnungen für Teile eines Jahres sind möglich, jedoch nicht über das Jahresende hinaus. Allerdings sind Anschluß-Berechnungen von Jahr zu Jahr möglich, die aufeinander bezogen sind (s. **Kap. 11.2.2.3**), womit die Möglichkeit mehrjähriger Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik grundsätzlich gegeben ist.

Ein Projekt beinhaltet typischerweise

- alle Schläge des Betriebes, für die in einem bestimmten Jahr Berechnungen erfolgen sollen
- jeder dieser Schläge ist gekennzeichnet durch einen zugehörigen Boden sowie für das konkrete Projektjahr durch einen Pflanzenbestand (eine oder hintereinander mehrere Fruchtarten), schlagspezifische Niederschläge, Beregnung, evtl. Grundwasserstände
- außer dem Niederschlag sind die meteorologischen Werte für alle Schläge des Projektes gleich (sonst müssen zwei oder mehrere Projekte angelegt werden)

Eine Übersicht über vorhandene Projekte einschließlich der Projektstruktur wird mit dem Button PROJEKTÜBERSICHT gegeben

5.1 Projekt anlegen

Um ein neues Projekt anzulegen, muß ggfs. das z.Zt. aktive Projekt geschlossen werden mit:

- PROJEKT
- PROJEKT SCHLIEßEN

Ein neues Projekt wird wie folgt angelegt:

- PROJEKT
- NEUES PROJEKT
- Eingabe des Projektnamen

- Einstellen des Projektjahres (sollen z.B. für 2025 Berechnungen, so ist unbedingt „2025“ auszuwählen)
- Button ERSTELLEN

Auf diese Weise wurde z.B. das in **Abbildung 7-1** relevante Projekt „LB Kumdorf 2009“ erstellt.

5.2 Projekte schließen, öffnen, löschen

Um ein bereits zu einem früheren Zeitpunkt erstelltes Projekt zu öffnen, muß ggfs. das z.Zt. aktive Projekt geschlossen werden

- PROJEKT
- PROJEKT SCHLIEßEN

Anschließend ist mit

- PROJEKT
- PROJEKT ÖFFNEN

das zu bearbeitende Projekt zu öffnen.

Ein Projekt wird gelöscht mit

- PROJEKT
- PROJEKT LÖSCHEN

(damit sind alle projektbezogenen Daten gelöscht!)

6 Schläge einschließlich jeweils zugehörigem Boden in das Projekt integrieren

Der Schlag ist die räumliche Bezugseinheit, für die Berechnungen durchgeführt werden, unabhängig wie groß und womit bewachsen diese Fläche ist (auch wenn es sich um eine Versuchspartzele, ein Beet, eine Wald- oder Naturfläche oder dgl. handelt).

Der Schlag hat

- einen bestimmten Boden

und bezogen auf ein konkretes Jahr (das entsprechende „Projekt“- Jahr)

- einen bestimmten Pflanzenbestand (ggfs. auch Abfolge mehrerer Früchte)

- einen einheitlichen Niederschlag
- eine einheitliche Bewässerung
- ggfs. einen einheitlichen Grundwasserstand.

Alle Schläge eines Projektes weisen (außer dem Niederschlag) gleiche Witterungsgegebenheiten auf.

Ein Schlag wird wie folgt in das aktuelle Projekt integriert (s. auch **Abbildung 7-1**):

- SCHLAG
- SCHLAG IM PROJEKT EINRICHTEN
- (mit SCHLÄGE IM PROJEKT können sie kontrollieren, welche Schläge bereits zum Projekt gehören)
- Schlag auswählen
- (sofern bereits weitere Schläge im Projekt vorhanden sind, für die schon Wetterdaten vorhanden sind – Kontrolle möglich mit Button NIEDERSCHLÄGE – wählen Sie unter NIEDERSCHLÄGE den Schlag aus, dessen bereits eingetragenen Niederschläge auch für den neuen Schlag übernommen werden sollen; Sie können dann später noch eine schlagspezifische Anpassung vornehmen)

Besonderheiten:

Bestehen auf einem im Landwirtschaftsbetrieb bewirtschafteten Schlag Unterschiede z.B. hinsichtlich Bodenverhältnissen und sollen diese Unterschiede in den Berechnungen mit ZEPHYR2 berücksichtigt werden, so sollten ggfs. mehrere Schläge angelegt werden (z.B. könnten aus Schlag „Bergschlag“ → die (Teil)schläge „Bergschlag_Lehm“ und „Bergschlag_Sand“ werden). Gleiches gilt, wenn auf dem Schlag Unterschiede z.B. bzgl. angebauter Pflanzen, Beregnung usw. gemacht werden.

Während der Niederschlag für jeden Schlag spezifisch ist, sind die weiteren Wetterdaten (Potentielle Verdunstung bzw. die entsprechenden Grundparameter Temperatur, Wind usw.) für alle Schläge in einem Projekt einheitlich. Diese vereinfachende Annahme wurde getroffen, um den Aufwand des Umgangs mit den Wetterdaten zu begrenzen. Diese Verfahrensweise ist fast immer gerechtfertigt, da (außer dem Niederschlag) die meteorologischen Verhältnisse im Betrieb weitgehend ähnlich sind. Trifft dies nicht zu, weil z.B. bestimmte Schläge in einer anderen Region liegen, so sind ggfs. jeweils separate Projekte für Teilbetriebe zu bilden.

7 Einen Pflanzenbestand anlegen und Änderungen im Bestand vornehmen

Ein Pflanzenbestand beschreibt die Entwicklung der Pflanzen für ein Jahr (1. Jan. bis 31. Dez). Er beinhaltet also innerhalb eines Projektes den Entwicklungsverlauf einer Kultur oder auch von mehreren hintereinander angebauten Kulturen. Für die Zeiträume vor, zwischen und nach den angebauten Kulturen wird unbedeckter Boden (Schwarzbrache) unterstellt. Auch Mulchschichten können berücksichtigt werden.

Pflanzenbestände, die angelegt wurden, haben zunächst noch keinen unmittelbaren Bezug zu einem bestimmten Schlag innerhalb eines Projektes. Dieser Bezug muß hergestellt werden, wobei ein Pflanzenbestand auch für mehrere Schläge gültig sein kann (**Kapitel 7.2**).

Die folgende **Abbildung 7-1** verdeutlicht, wie für ein konkretes Jahr in einem Projekt Pflanzenbestände angelegt wurden und für welche Schläge diese Gültigkeit haben.

Die Interaktion zwischen Pflanzen, Boden und Wetter ist eine der wesentlichen Modellbausteine von ZEPHYR2. Dabei faßt ZEPHYR2 die Modellvorstellungen einer Reihe von Autoren zusammen (BOHNE u. KOITZSCH (1986), KOITZSCH u.a. (1977, 1980, 1990)). Für die konkreten Eigenschaften der Pflanzen (zeitlicher, d.h. an der Pflanzenentwicklung orientierter Verlauf der Parameter Bedeckungsgrad, Höhe, Durchwurzelung, Verdunstungskoeffizient, Trockenheitsempfindlichkeit) ist auf eine Vielzahl Untersuchungen und Kartierungen zu verweisen (ROTH u. WERNER (2000), GÜNTHER u. KNOBLAUCH (2005), ROTH u.a. (2005), HIRTHE (2008), MICHEL, R. (1986, 2004 ...), MICHEL, H.-J. (1997), ATV-DVWK (2002), ACHTNICH (1980), WENKEL u.a. (1985)) sowie auf mitgeteilte Beobachtungen einer Vielzahl Landwirte und einiger Forstwirte.

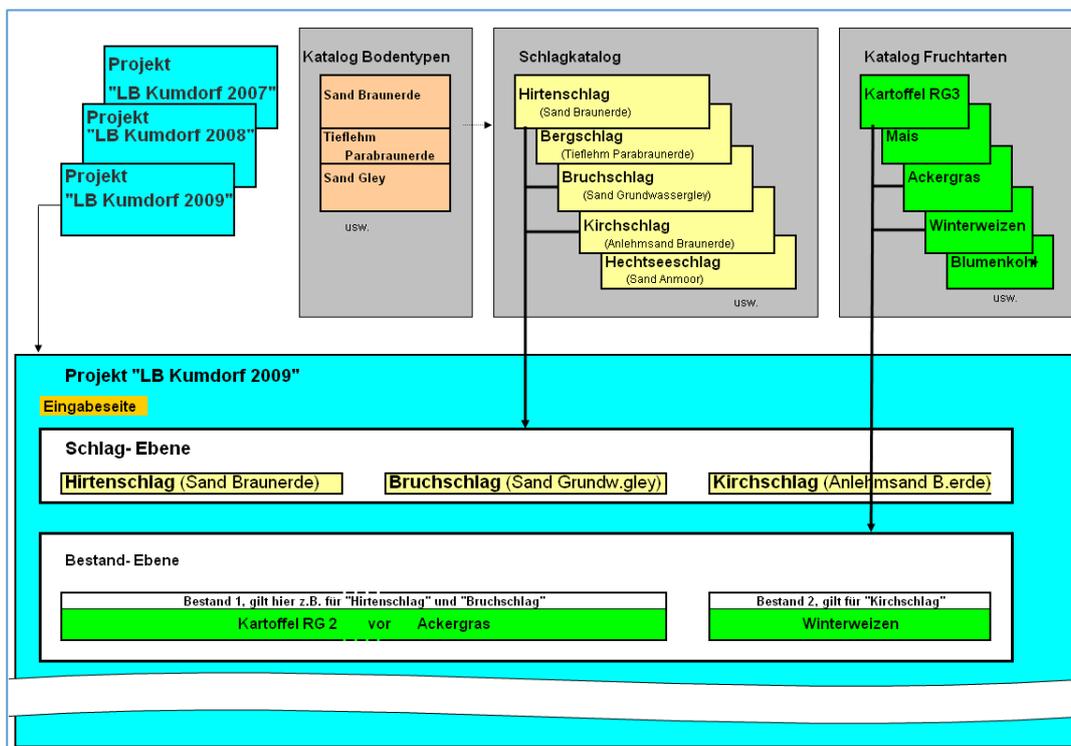


Abbildung 7-1. Schläge in ein Projekt integrieren und Pflanzenbestände in einem Projekt anlegen

7.1 Einen Pflanzenbestand anlegen

Ein Pflanzenbestand wird wie folgt angelegt (**Abbildung 7-2**):

- PFLANZENBESTAND
- PFLANZENBESTAND EINRICHTEN
- Bestandesbezeichnung eingeben (frei wählbar)
- Auswahl der ersten Fruchtart
- Festlegung Zeitraum (von – bis), in dem die Fruchtart auf dem Schlag (z.B. Saat bis Ernte)
- Auswahl des Standards, auf dem die Angaben zu der Frucht basieren (s. Anmerkungen im Beispiel unten)
- ggfs. Eingabe mit der zweiten Frucht (zeitlich versetzt zur ersten Frucht im selben Jahr) fortsetzen
- EINRICHTEN

Werden zwei oder mehr Früchte angegeben, dürfen sich die Zeiträume der Früchte natürlich nicht überschneiden. Für die Zeiträume zwischen den Früchten gilt wieder Schwarzbrache.

Das folgende **Beispiel** (es soll ein Bestand mit Kartoffeln (mittlere Reifegruppe RG3) vor Wintergerste angelegt werden) verdeutlicht das Vorgehen. Es wird wie oben beschrieben vorgegangen, wobei folgende Eingaben gemacht werden **Abbildung 7-2**:

- als Bestandesbezeichnung. „Fruehkartoffel vor WGerste 2024“
- Auswahl der Fruchtart „Kartoffel (RG1)“
- Festlegung Zeitraum der Frucht auf dem Schlag (z.B. 1. April 24 bis 20. August 24) – Anmerkung: für die Zeiträume ohne die angelegte Frucht (also hier vor dem 1. April und nach 20. August) gilt in den Berechnungen zunächst automatisch Schwarzbrache
- Festlegung eines Standards, der die Parameter der Frucht „Kartoffel (RG1)“ enthält: der Standard „Modell“ (der nicht geändert werden kann) liegt in der ZEPHYR2- Datenbank vor; es können jedoch eigene Standards erzeugt werden, die den Wachstumsverlauf evtl. besser, z.B. Sorten-spezifisch beschreiben; diese eigenen Standards können ebenfalls immer wieder benutzt werden, wenn wieder ein Bestand angelegt wird (s. weiteres zu „Standards der Pflanzenentwicklung“ in **Kapitel 7.3.5**)
- analog mit der nachfolgenden Fruchtart Winter-Gerste verfahren
- mit dem Speichern (Button EINRICHTEN) des Bestandes „Fruehkartoffel vor WGerste 2025“ beinhaltet der Bestand die Pflanzenparameter wie folgt
 - vom 1. Jan. bis 31. März: Parameter für unbedeckten Boden (Schwarzbrache)
 - vom 1. April bis 20. August: Parameter Kartoffel RG1, Standard z.B. ‚Modell‘
 - vom 21. - 31. August.: Parameter für unbedeckten Boden (Schwarzbrache)
 - vom 1. September bis 31. Dezember: Parameter Winter-Gerste, Standard z.B. ‚Modell‘

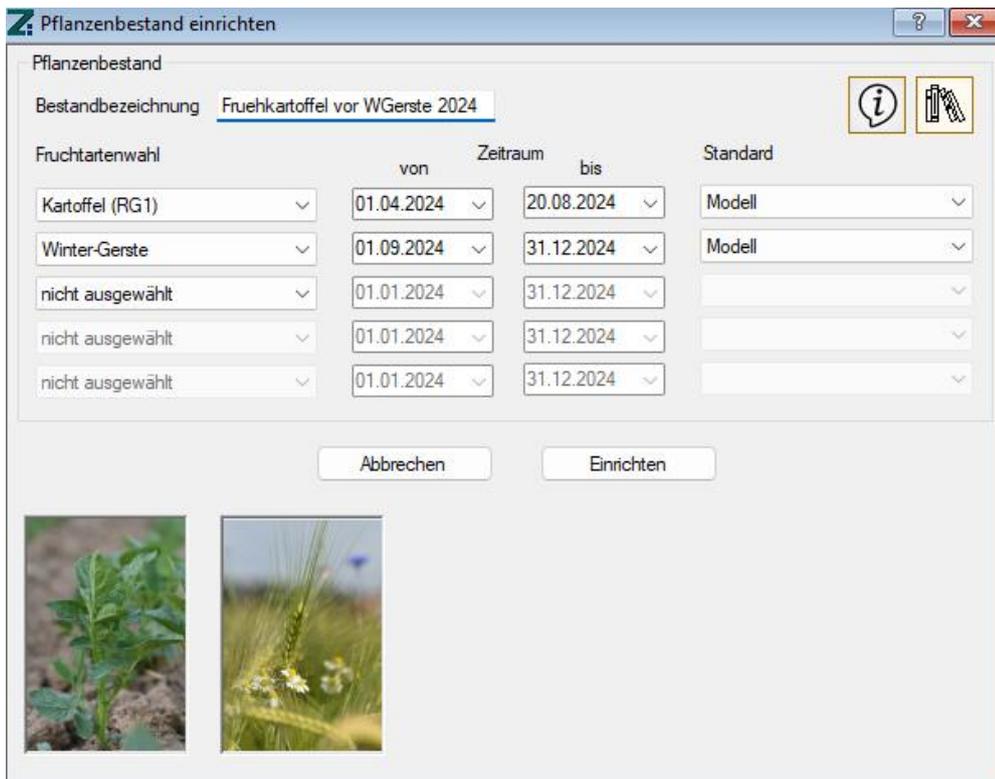


Abbildung 7-2. Einrichten eines Pflanzenbestandes in einem Projekt

7.2 Den Pflanzenbestand einem oder mehreren Schlägen zuweisen

Nach dem Anlegen eines Pflanzenbestandes ist dieser noch keinem Schlag zugehörig. Diese Zuweisung muß erfolgen, so daß schließlich jeder Schlag einen zugehörigen Pflanzenbestand hat.

Es ist auch möglich, daß ein Pflanzenbestand für zwei oder mehrere Schläge gilt. Dies ist sinnvoll, wenn eine gleiche Pflanzenentwicklung auf verschiedenen Schlägen zu erwarten ist. Wenn dann Änderungen in der Entwicklung des Pflanzenbestandes (s. **Kapitel 7.3**) vorgenommen werden, gilt dies entsprechend für alle Schläge, denen dieser Pflanzenbestand zugewiesen wurde.

Beispiel

In **Abbildung 7-1** wurde der Bestand „Kartoffeln vor Ackergras“ zwei Schlägen (Hirtenschlag, Bruchschlag) zugewiesen.

Ist jedoch davon auszugehen, daß sich die Bestände verschiedener Schläge unterschiedlich entwickeln, so sollte für jeden Schlag ein Pflanzenbestand angelegt werden.

Die Zuweisung von Pflanzenbeständen zu Schlägen geschieht folgendermaßen:

- SCHLAG
- BESTAND ZUORDNEN
- jedem Schlag einen Bestand zuweisen
- Button ÜBERNEHMEN

7.3 Änderungen im Pflanzenbestand vornehmen

Es ist für die Qualität der Berechnungen mit ZEPHYR2 wesentlich, daß der Entwicklungsstand der jeweiligen Frucht des Pflanzenbestandes möglichst gut der Realität entspricht. Dies bewirkt, daß die Pflanzenparameter, die die Berechnungen von ZEPHYR2 wesentlich beeinflussen, realistisch sind.

Ein eingerichteter Bestand kann bearbeitet werden. Das bedeutet sowohl, daß Festlegungen aus ‚Bestand einrichten‘ (Kulturarten, Zeiträume, Standards) korrigiert werden können, als auch die Anpassung der Parameter von Fruchtarten des Bestandes.

Die Bearbeitung eines Pflanzenbestandes beginnt mit:

- PFLANZENBESTAND
 - PFLANZENBESTAND BEARBEITEN
- oder Button PFLANZENBESTÄNDE BEARBEITEN

In **Abbildung 7-3** sind die Möglichkeiten erkennbar, bei einem Pflanzenbestand Änderungen hinsichtlich der Parameter vorzunehmen:

- Parameter- Übersicht (nur Übersicht und Kontrolle, keine Änderungen möglich)
- Termine (von Pflanzenstadien) verschieben
- Parameterwerte ändern
- (Maßnahmen durchführen)⁴.

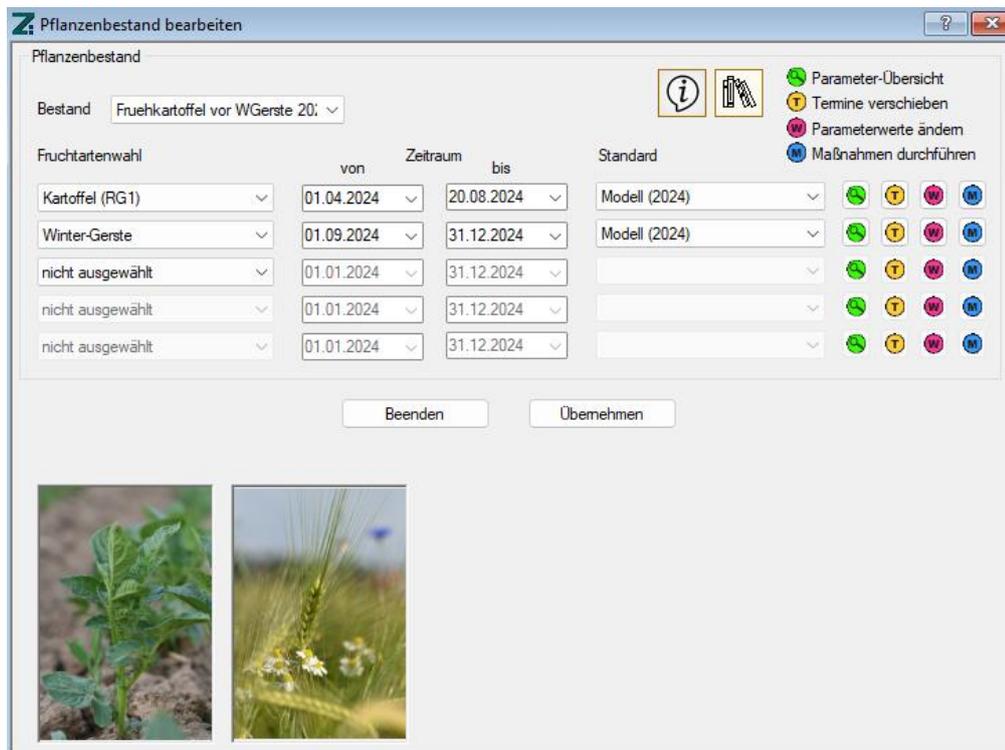


Abbildung 7-3. Pflanzenbestände bearbeiten

⁴ die Einbeziehung von Maßnahmen in die Parametrisierung ist momentan im Programm noch nicht umgesetzt und sollte darum nicht gewählt werden

7.3.1 Parameter Übersicht

Wie folgt:

- PFLANZENBESTAND
- PFLANZENBESTAND BEARBEITEN
- Auswahl PARAMETERÜBERSICHT

Änderungen können in der Parameter- Übersicht nicht erfolgen, es kann sich jedoch ein Überblick über den zeitlichen Entwicklungsverlauf verschiedener Pflanzenparameter verschafft und somit kontrolliert werden, ob dieser den realen Gegebenheiten recht gut entspricht (s. auch **Tabelle 7-1**).

Wichtige Parameter sind besonders:

- der Bedeckungsgrad der Pflanzen
- die Bestandeshöhe (es kommt nicht auf einen, aber, z.B. bei Pflanzen noch geringer Wuchshöhe, evtl. auf 10 cm an)
- die Durchwurzelungstiefe (diese wird für verschieden tiefgründige Böden angezeigt; welche Kurve verwendet wird, hängt vom ausgewählten Boden auf der Ebene ‚Schlag‘ ab)
- der Transpirationskoeffizient (Korrekturfaktor zur Verdunstungsberechnung in Vergleich mit kurzem Gras)
- Obere Optimumgrenze der nutzbaren Feldkapazität (also der nFK- Wert, den die später berechnete Bodenfeuchte nicht unterschreiten sollte)

7.3.2 Termine Pflanzenentwicklung anpassen

Dies ist die **wichtigste Möglichkeit**, den Entwicklungsstand der Pflanzen und damit auch den Verlauf der Parameter an die Realität anzupassen. Die Skala lehnt sich teilweise, aber nicht voll, an die BBCH- Skala an. Mit der möglichst korrekten Einstellung der angegebenen Termine ist oft eine ausreichend genaue Anpassung des Pflanzenbestandes gegeben, ohne daß weitere Einstellungen (z.B. das Einstellen einzelner Parameterwerte, s. folgendes Kapitel) erforderlich sind.

Termine der Pflanzenentwicklung werden wie folgt angepaßt:

- PFLANZENBESTAND
- PFLANZENBESTAND BEARBEITEN
- Auswahl TERMINE VERSCHIEBEN
- es erscheint das Fenster nach **Abbildung 7-4**; die Termine können „angefaßt“ und zeitlich verschoben werden. An die Termine sind bestimmte Parameter der Pflanzenentwicklung gebunden (Stützstellen, z.B. Bedeckungsgrad, Höhe usw.). Diese Parameter/Stützstellenwerte verschieben sich entsprechend zeitlich mit
- nach ÜBERNEHMEN berechnet sich der komplette Parametersatz für die betreffende Fruchtart im Bestand neu, was sich natürlich auch auf den zeitlichen Verlauf der Pflanzenparameter auswirkt.

Hinweis:

Auch wenn z.B. gerade die Kartoffel (mittlere Reifegruppe RG3), Standard „Modell“ verändert wurde, wirkt sich dies nur in dem Bestand aus, in dem die Änderungen erfolgten; der hinterlegte Standard „Modell“ selbst bleibt unberührt. Wenn ein neuer Bestand einrichtet und wieder der Standard „Modell“ ausgewählt wird, wird wieder auf den ursprünglichen Standard „Modell“ zurückgegriffen. Sollen die getroffenen Veränderungen tatsächlich auch später bei der Anlage neuer Pflanzenbestände verfügbar sein, so ist dies unter Pflanzenbestand → Standard überführen (s. **Kapitel 7.3.5**) möglich.

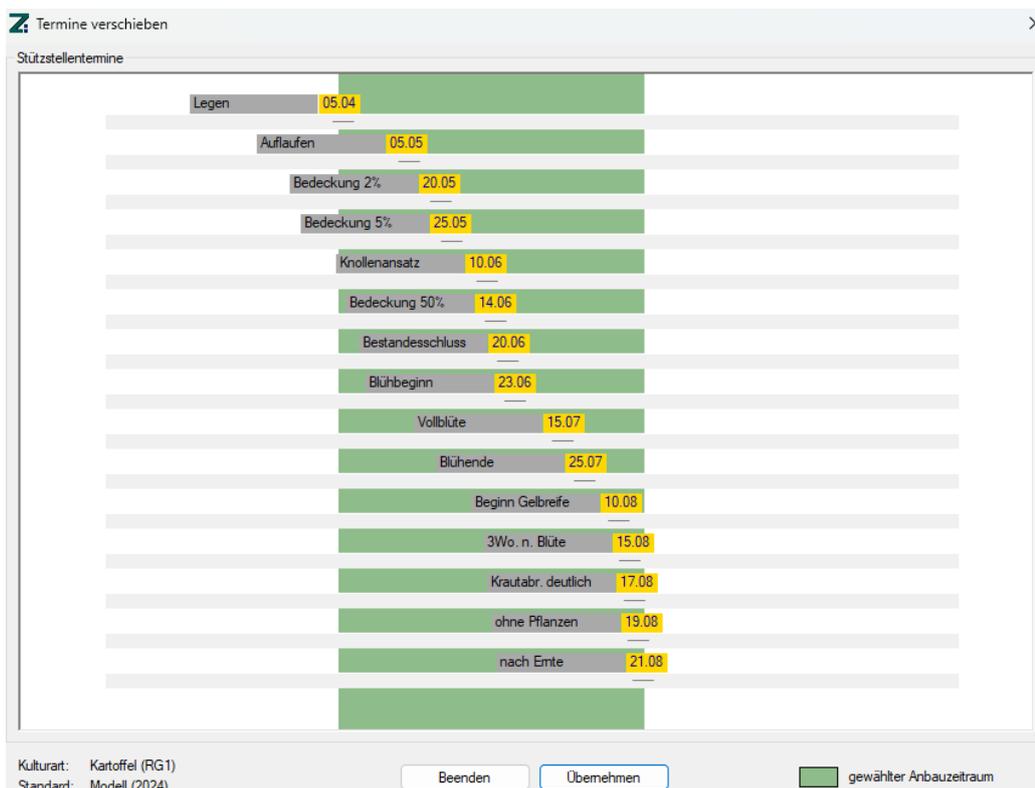


Abbildung 7-4. Termine der Pflanzenentwicklung anpassen

7.3.3 Parameterwerte der Pflanzenentwicklung ändern

Hinweis vorab:

wenn die Termine der Pflanzenentwicklung (s.o.) gut angepaßt sind, so kann normalerweise davon ausgegangen werden, daß die in ZEPHYR2 verankerten Parameterwerte (Bedeckung, Höhe usw.) die Situation eines Pflanzenbestandes relativ gut (d.h. ausreichend gut) wiedergeben; Veränderungen an den Parametern sollten nur dann erfolgen, wenn klar ist, daß die Werte real deutlich anders sind.

Dies ist die zweite Möglichkeit der Anpassung des Pflanzenbestandes an die realen Gegebenheiten. Hier können die Parameterwerte zu bestimmten Terminen gezielt selbst wertemäßig (innerhalb sinnvoller Spannen) geändert werden. Dies geht nicht für alle Werte zu allen Terminen, sondern nur dort, wo es sinnvoll ist. Im Folgenden wird zunächst erklärt, wie die Werte geändert werden können (**Kap. 7.3.3.1**). In **Kap. 7.3.3.2** werden die Parameterwerte erläutert, für die Änderungen sinnvoll sein können.

7.3.3.1 Verfahren der Änderung der Parameter

(Hinweis: die relevanten Parameter sind in **Kap. 7.3.3.2** erläutert.

Parameterwerte des Pflanzenbestandes wie folgt ändern:

- PFLANZENBESTAND
- PFLANZENBESTAND BEARBEITEN
- Auswahl PARAMETERWERTE ÄNDERN
- es erscheint das Fenster nach **Abbildung 7-5**; die für Änderungen freigegebenen Werte (grün hinterlegt) können angeklickt werden
- es erscheint das Fenster nach **Abbildung 7-6**; ein neuer Wert kann eingegeben werden, anschließend wird dieser Wert geprüft in zweifacher Hinsicht:
 - Prüfung daraufhin, ob er innerhalb einer zulässigen Spanne liegt (da er nur in bestimmten Grenzen variieren darf)
 - Prüfung daraufhin, ob Beziehungen zu weiteren Werten gewahrt bleiben (diese zweite Prüfung verhindert, daß unsinnige Verläufe der Parameter entstehen [z.B., daß die Bestandeshöhe erst steigt, dann fällt und dann wieder steigt o.ä.] – wird ein Fehler ausgewiesen, sind i.d.R. ein oder mehrere zeitliche Vorgängerwerte oder Nachfolgerwerte einzustellen, bevor der eigentliche Wert in der gewünschten Weise geändert werden kann)
- mit ÜBERNEHMEN erfolgt Rücksprung in Fenster nach **Abbildung 7-5**
- nach ÄNDERUNGEN SPEICHERN berechnet sich der komplette Parametersatz für die betreffende Fruchtart im Bestand neu.

Z Pflanzenwerte verändern

Pflanzenwerte

Datum	Stadium	Bedeckung [%]	Pflanzenhöhe [cm]	Wurzeltiefe Boden tief [cm]	Boden mittel [cm]	Boden flach [cm]	Transpirationskoeffiz
01.01	Start	0	0	0	0	0	1
05.04	Legen						
05.05	Auflaufen	0.1	0.1	8	8	8	1
20.05	Bedeckung 2%	2	1	10	8	8	1
25.05	Bedeckung 5%	5	2	15	15	14	1
10.06	Knollenansatz	40	18	27	25	22	1
14.06	Bedeckung 50%	50	20	30	28	26	1
20.06	Bestandesschluss	90	30	35	33	30	1
23.06	Blühbeginn	95	32	38	35	32	
15.07	Vollblüte	100	40	50	47	42	1.5
25.07	Blühende	100	45	70	60	50	
10.08	Beginn Gelbreife	85	45				1
15.08	3Wo. n. Blüte	50	20				1
17.08	Krautabr. deutlich	45	20				1
19.08	ohne Pflanzen	5	5	70	63	54	0.5
21.08	nach Ernte	0	0	0	0	0	0.5
21.12	Ernte	0	0	0	0	0	0.5

Stützstelle, änderbar
 nicht Stützstelle, nicht änderbar
 nicht als Stützstelle geschaltet, im Moment nicht änderbar
 Werte durch Maßnahme verändert
 Stützstelle, nicht änderbar

Kulturart: Kartoffel (RG1)
 Standard: Modell (2024)

Abbildung 7-5. Fenster zur Auswahl des zu verändernden Parameters

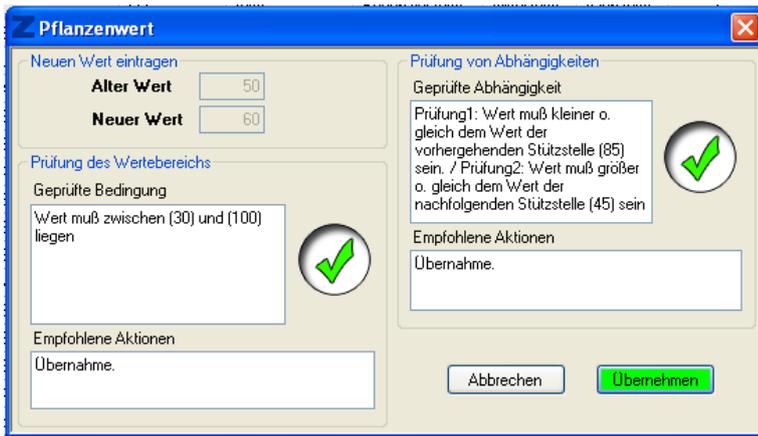


Abbildung 7-6. Prüfung Werteveränderungen Pflanzenbestand

7.3.3.2 Inhaltliche Bedeutung ausgewählter Pflanzenparameter und Hinweise zur Anpassung durch den Nutzer

Nach **Kap. 7.3.1** kann eine Übersicht über den Verlauf aller Pflanzenparameter dargestellt werden. Nicht alle Parameter sind jedoch von hoher Relevanz für die Berechnungen. In nachstehender Übersicht sind die Parameter inhaltlich vorgestellt, für die eigene Einstellungen sinnvoll sind (**Tabelle 7-1**).

Tabelle 7-1. Übersicht und Charakteristik wesentlicher Pflanzenparameter u. Hinweise zur Anpassung

Beispiel zeitlicher Verlauf des Pflanzenparameters	Bedeutung	Hinweise Anpassung
<p>Bedeckungsgrad A: 91 %</p>	visuell erkennbarer Grad der Bodenbedeckung durch die Pflanzen einschl. Pflanzenreste in [Prozent], die den Boden bedecken; Wert regelt vor allem das Verhältnis von Boden- und Pflanzenverdunstung sowie die Interzeption	sollte vom Nutzer den tatsächlichen Gegebenheiten nach visueller Schätzung, jedoch sorgfältig angepaßt werden
<p>Bestandeshöhen 30.4 cm</p>	mittlere Pflanzenhöhe in [cm], hat besonderen Einfluß auf die Interzeptionskapazität der Pflanzen	sollte vom Nutzer den tatsächlichen Gegebenheiten nach visueller Schätzung näherungsweise angepaßt werden (untergeordnete Bedeutung); bei Pflanzen mit Stamm nur der Blatttraum, bei sehr dichter Blattlagerung Wert etwas erhöhen
<p>Durchwurzelungstiefe DWf: 30.4 cm (flachgr.) 33.4 cm (mittelgr.) 35.6 cm (tiefgr.)</p>	Durchwurzelungstiefe in [cm] in Varianten je nach Gründigkeit des Bodens; welche der 3 Kurven in den Berechnungen verwandt wird, hängt vom zugehörigen Boden des Berechnungsfalls ab (s. den zugehörigen Boden des Schlages)	haben Sie Grund, davon auszugehen, daß der Durchwurzelungsverlauf Ihres Pflanzenbestandes abweicht (beachten: zugehöriger Verlauf entsprechend dem Boden Ihres Schlages), können Sie Änderungen vornehmen (Beisp.: der für Ihren Schlag ausgewählte Boden "mittelgründiger Löss-Schwarzerde" ist etwas flachgründiger als entsprechend Kurvenverlauf, so nehmen Sie eine entsprechende Anpassung vor)
<p>Transpirationskoeffizient F: 1.04</p>	Transpirationskoeffizient [-] beschreibt, wie die potentielle Verdunstung PET der Frucht in Vergleich mit einem kurzen Grasbestand gleichen Bedeckungsgrades ist (z.B. 1.0 --> PET der Frucht entspricht PET Gras; z.B. 1.5 --> PET Frucht ist 1.5 mal höher als PET Gras)	besteht Anlaß zu der Einschätzung, daß die Verdunstung zum Zeitpunkt der maximalen Blattfläche deutlich höher als bei anderen Sorten dieser Frucht ist --> Wert für diesen Zeitpunkt um 0.1 bis max. 0.2 erhöhen; im umgekehrten Fall Wert erniedrigen
<p>Obere Optimierungsgrenze der nutzbaren Feldkapazität: 44 %nFK</p>	Die Optimierungsgrenze der nFK im Wurzelraum [%] wirkt sich nicht in den Berechnungen aus, wird aber in der Berechnungsempfehlung dargestellt und zeigt die Grenze der Bodenfeuchte, die nicht unterschritten werden sollte	Die Angaben beruhen auf langjährigen Versuchsergebnissen (Quelle); sollte Anlaß bestehen, aus eigenen Erfahrungen heraus diese Werte zu ändern, so ist dies möglich

die weiteren Parameter haben keinen oder nur geringen Einfluß auf die Berechnungen bzw. sind für die Beurteilung der Pflanzenwasserversorgung von geringer Bedeutung und sollten nicht verändert werden

7.3.4 Besondere Maßnahmen im Pflanzenbestand durchführen

Maßnahmen im Pflanzenbestand wie folgt festlegen:

- PFLANZENBESTAND
- PFLANZENBESTAND BEARBEITEN
- Auswahl MAßNAHMEN DURCHFÜHREN

Achtung:

Die Funktion kann z.Zt. nur bei der Fruchtart Kartoffel eingesetzt werden und ist damit in der Nutzung sehr eingeschränkt!

Es können bestimmte pflanzenbauliche Maßnahmen ausgewählt werden, die im Bestand durchgeführt wurden oder geplant sind, und die sich unmittelbar auf die Pflanzenparameter auswirken, i.d.R. von einem Tag auf den anderen Tag. Dabei kann es sich z.B. bei Kartoffeln um das Abtöten oder Abschlagen des Krautes handeln oder auch um die Ernte.

7.3.5 Eigene Pflanzenstandards setzen

Für jede Frucht, für die mit ZEPHYR2 Berechnungen durchgeführt werden können, ist als Teil der Software ein Standardsatz in der Datenbank enthalten, der die Entwicklung der Frucht einschließlich der zugehörigen Parameter beschreibt. Dieser Standardsatz ist für jede Frucht als Standard „Modell“ bezeichnet.

Auch wenn im Laufe einer Vegetationsperiode hier Anpassungen vorgenommen werden, bleibt der eigentliche Standard „Modell“ hiervon unberührt.

Es kann aber für den Anwender sinnvoll und notwendig sein, eigene Standards zu erzeugen, um Anpassungen, die eigenständig an einer Fruchtart in einem Pflanzenbestand vorgenommen wurden, zu sichern und wieder zur Verfügung zu haben, wenn (z.B. im Folgejahr) ein neuer Bestand angelegt wird. Das ist z.B. zweckmäßig, wenn der typische Entwicklungsverlauf einer angebauten Pflanzensorte deutlich vom Standard „Modell“ abweicht. Dann sollte ein eigener Standard angelegt werden. Je Fruchtart ist das Anlegen von maximal fünf eigenen Standards möglich.

Basis sind die eigenen Anpassungen, die bei der Bearbeitung einer bestimmten Frucht innerhalb eines Pflanzenbestandes vorgenommen wurden.

Eigene Pflanzenstandards wie folgt setzen (s. auch das nachstehende Beispiel und **Abbildung 7-7**):

- PFLANZENBESTAND
- STANDARD ÜBERFÜHREN
- den Bestand auswählen, aus dem heraus ein neuer Standard gesetzt werden soll
- die Fruchtart im Bestand auswählen, die Grundlage des neuen Standards sein soll
- den neuen Standard mit einem Namen versehen (z.B. die spezielle Sorte der Frucht)
- einen der 4 möglichen Plätze wählen, auf die der neue Standard gespeichert werden soll, dabei beachten

- die Speicherung auf den Platz „Modell“ ist nicht möglich
- die Speicherung auf einen mit „leer“ bezeichneten Platz erzeugt einen neuen, zusätzlichen Standard
- die Speicherung auf einen mit einem anderen Namen bezeichneten Platz ersetzt diesen Standard durch den neuen Standard

- AUSFÜHREN

Folgendes **Beispiel** (s. **Abbildung 7-7**):

Auf einem Schlag werden Kartoffeln der Sorte „Fasan“ angebaut. In ZEPHYR2 wurde entsprechend ein Bestand „Kartoffel 2008“ mit der Frucht „Kartoffel (RG3)“ eingerichtet. Im Laufe der Vegetationsperiode erfolgte eine laufende Anpassung der Pflanzenparameter an die konkrete Pflanzenentwicklung der „Fasan“-Kartoffeln auf dem (realen) Schlag. Nach Abschluß der Saison wird festgestellt, daß sich die Entwicklung der Kartoffeln so vollzog, wie es für „Fasan“ typisch ist. Entsprechend soll der gut an die typische Pflanzenentwicklung angepaßte Standard erhalten werden, um ihn wieder zur Verfügung zu haben. Es wird also aus dem Bestand „Kartoffel 2008“ die Frucht „Kartoffel (RG3)“ wie oben beschrieben ausgewählt und ein neuer Standard „Fasan“ für „Kartoffel (RG3)“ gebildet und auf eine leere Speicherzelle gespeichert (s. **Abbildung 7-7**). Wenn Sie z.B. in 2009 den neuen Bestand „Kartoffel 2009“ mit der Frucht „Kartoffel (RG3)“ anlegen, können Sie diesen mit dem angepaßten Standard „Fasan“ anlegen.

Abbildung 7-7. Speichern des eigenen Standards einer Frucht

8 Wetterdaten in das Projekt integrieren

Tageswerte der Wetterdaten bestimmen in den Berechnungen mit ZEPHYR2 den Niederschlag und die Verdunstungsbedingungen. Bei den Wetterdaten kann es sich, was häufig der typische Fall ist, um Meßwerte oder prognostische Werte handeln. Auch Schätzwerte können – z.B. als Ersatz für fehlende Meßwerte – eingegeben werden und werden dabei sehr ähnlich den Prognosewerten behandelt. Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, sogenannte Wetterszenarien in die Berechnungen einzubeziehen. Letzteres ist ein Punkt, der gesondert (**Kapitel 17**) erläutert und beschrieben wird.

Die Integration von Wetterdaten ist insofern die Achillesferse von ZEPHYR2, als sie der einzige Teil ist, in welchem ZEPHYR2 (fast immer) auf externe Quellen angewiesen ist. Es besteht also eine Abhängigkeit von der Verfügbarkeit dieser Daten und bei Änderungen im Format dieser Daten kann es zu Problemen kommen. Der Entwickler des Programms hat im Bereich der Ihm möglich erscheinenden Probleme alles unternommen, um diesbezügliche Anfälligkeiten zu vermeiden. Hinsichtlich des Imports von Meßwerten werden darum nur Formate genutzt, die seit vielen Jahren bewährt sind; der Import von Prognosewerten, der seit ca. zwei Jahren implementiert und ausführlich getestet ist, hat sich anstandslos bewährt. Sollte es dennoch Schwierigkeiten geben, so wird empfohlen, den Entwickler/ ZEPHYR2-Administrator hinzuzuziehen.

8.1 Relevante Wetterdaten und ihre Bedeutung

Es handelt sich bei allen Wetterdaten, die in Bodenfeuchteberechnungen eingehen, um Tageswerte. Zusätzlich werden hinsichtlich Prognosen stündliche Werte importiert, die vor allem Bedeutung für Pflanzenschutz-bezogene Aussagen haben (s. hierzu **Kapitel 8.5.7.2**)

8.1.1 Niederschläge N

Die Niederschläge gelten schlagspezifisch, d.h. jeder Schlag innerhalb eines Projektes (Projektschlag) erhält seinen eigenen Niederschlagswert. Das erscheint notwendig, da bei diesem entscheidend wichtigen Eingangsparameter die räumliche Varianz sehr stark sein kann.

Tabelle 8-1. Der Wetterparameter Niederschlag

Parameter	Maßeinheit	Genauigkeit	Bemerkung
Niederschlag N	mm	1 mm, besser 0.1-0.5 mm	

Zur Messung des Niederschlags kann ein handelsüblicher Regenmesser dienen, möglichst am Schlag in ca. 1m Höhe aufgestellt.

Programmintern werden die Werte von N korrigiert (etwa um 15 % erhöht entsprechend der Erfahrungen nach RICHTER (1995)). Hierbei wird z.Zt. allerdings noch nicht die Situation jedes einzelnen Niederschlagsmessers berücksichtigt, sondern eine einheitliche Formel angesetzt.

8.1.2 Wetterparameter zur Berechnung der potentiellen Verdunstung PET

Die potentielle Verdunstung PET kennzeichnet die Verdunstungskraft der Atmosphäre (s. auch **Anlage 5**). Sie ist ein Referenzwert und bezieht sich standardmäßig einheitlich auf einen kurzen, gut mit Wasser versorgten Grasbestand (ATV-DVWK (2002), DVWK 238 (1996)). Die bestandesspezifischen Verdunstungswerte werden aus der PET und weiteren Daten erst berechnet.

Die PET gilt projektspezifisch, also für alle Schläge des Projektes einheitlich.

Die PET kann direkt eingegeben oder importiert werden. Oft muß sie jedoch aus anderen Wetterdaten berechnet werden. Die Berechnung der PET aus anderen Wetterdaten erfolgt nach dem Verfahren von PENMAN (1956) – WENDLING (1991), nachstehend meist PENMAN-WENDLING genannt.

8.1.2.1 Eingabe der Potentiellen Verdunstung PET als Wert

Tabelle 8-2. Der Wetterparameter Potentielle Verdunstung PET

Parameter	Maßeinheit	Genauigkeit	Bemerkung
Potentielle Verdunstung PET	mm	(1 mm), besser 0.1-0.5 mm	s. nachstehender Hinweis

Folgende **Erläuterung** bezieht sich auf den aktuellen Stand bzgl. Art und Hintergrund von PET:

Die Nutzung der PET nach PENMAN- WENDLING ist eine Randbedingung in ZEPHYR2, auf der eine Reihe Details in der Berechnung von Verdunstungsprozessen in diesem Programm aufbauen. Insofern ist es nicht unproblematisch, anstatt dessen PET- Werte zu nutzen, die auf (evtl. noch unterschiedlichen) abweichenden Berechnungsansätzen beruhen, von denen es eine Vielzahl gibt. Andererseits ist bei Anbietern von PET- Werten im Internet (für ZEPHYR2 ist insbesondere der DWD relevant) inzwischen der genannte PENMAN-WENDLING-Ansatz etwas in den Hintergrund gerückt bei der Bereitstellung von Wetterdaten. Es werden z.Zt. meist methodisch etwas anders berechnete PET- Werte angeboten. Dies gilt z.B. für die beim DWD auf FTP- Server erhältlichen Daten, die (s. folgende Unterkapitel) auch von ZEPHYR2 genutzt werden. Hierbei sind für ZEPHYR2 insbesondere die PET- Werte „Potentielle Evapotranspiration von Gras (AMBAV) = Parameter VPGB“ (s. hierzu Link unter DWD-FTP im Literaturverzeichnis) relevant, auf deren methodischen Hintergrund hier nicht eingegangen werden kann (für Nachfragen wird auf die Internetseite des DWD verwiesen oder auf einen direkten Kontakt zum ZEPHYR2-Anbieter). Da der AMBAV- Ansatz wesentlich auf der Penman-Monteith-Gleichung (MONTEITH, 1976) beruht, bestehen in den Ergebnissen keine stärkeren Unterschiede zu PENMAN-WENDLING. Dies zeigt auch ein empirischer Vergleich (MICHEL, 2020). Es erfolgte dennoch in ZEPHYR2 eine Anpassung, nach welcher vom DWD importierte Tageswerte der PET nach AMBAV in ZEPHYR2 entsprechend einer Regression in Werte nach PENMAN- WENDLING umgerechnet werden.

Ein weiterer **Hinweis**:

Es erscheint unproblematisch, sofern keine PET- Werte nach PENMAN-WENDLING oder AMBAV verfügbar sind, für eine begrenzte Anzahl von Tagen auch nach anderen Methoden ermittelte PET- Werte in ZEPHYR2 zu verwenden. Dies sollte aber niemals lange, sondern nur relativ kurze Perioden betreffen, da ansonsten naturgemäß auch die Berechnungsergebnisse von ZEPHYR2 zunehmend unrealistisch werden.

8.1.2.2 Eingabe von Wetterdaten zur Berechnung der Potentiellen Verdunstung PET

PET wird (nach PENMAN-WENDLING, s.o) aus folgenden Wetterdaten berechnet.

Tabelle 8-3. Wetterparameter als Grunddaten zur Berechnung der Potentielle Verdunstung PET

Parameter	Maßeinheit	Genauigkeit	Bemerkung
Tagesmitteltemperatur Temp	°C	1°C, besser 0.1-0.5°C	
Sonnenscheindauer SN oder alternativ Globalstrahlungssumme GS	h (Stunde) J/cm ²	1 h, (besser 0.5 - 0.1 h) etwa 1 bis 10 J/cm ²	wenn GS bekannt, sollte GS genutzt werden, sonst alternativ SN (GS wird dann aus SN berechnet)
mittlere Windgeschwin- digkeit WG	m/s	0.5 m/s, (besser 0.1 m/s)	
Meßhöhe Windmesser WH	m	1 m, bei geringen Höhen besser 0.5 m	
mittlere Relative Luftfeuchte RLF	%	5%, besser 1%	

8.2 Kurzcharakteristik der Möglichkeiten zur Übernahme von Wetterdaten

Zunächst sind folgende Möglichkeiten (Quellen) der Übernahme von Wetterdaten vorgesehen:

- manuelle Eingabe
(Bezeichnung MANUELLE EINGABE)
- Import Daten DWD-Klimastationen vom FTP-Server (Bereitstellung über den Server Ihres Anbieters von ZEPHYR2); für die Nutzung dieser Variante sind bei Auslieferung des Programms vier mögliche Quellen vorgesehen (somit kann z.B. ein Nutzer Wetterdaten von bis zu vier Stationen nutzen, z.B. bei Beratung mehrerer Betriebe in unterschiedlichen Regionen)
(Bezeichnungen: SERV.....)
- Import von Niederschlag N und Potentieller Verdunstung PET über eine Textdatei im CSV-Format
(Bezeichnung: CSV DATEI N+PET)
- Import von Niederschlag, Temperatur und weiteren zur PET-Berechnung notwendigen Daten über eine Textdatei im CSV-Format
(Bezeichnung: CSV DATEI N+TEMP++)
- Übernahme Werte der DWD-Wetterprognose
(Bezeichnung: DWD PROGNOSEDATEN)

- Übernahme von gemessenen Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes DWD von einer auszuwählenden Station (kostenfrei über Internet)
(Bezeichnung: DWD WETTERDATEN ONLINE)
- Übernahme von Ihrer eigenen Wetterstation (z.Zt. nur DLR- Station, Nutzung dieser Option möglichst erst nach Rücksprache mit Anbieter ZEPHYR2)
(Bezeichnung: DLR WETTERDATEN)

Die Möglichkeiten des Imports von Wetterdaten können sich künftig ändern. Insofern kann es möglich sein, daß bei Auslieferung der Software bereits andere Optionen in ZEPHYR2 existieren, Wetterdaten einzugeben oder zu importieren.

8.3 Verlässlichkeitsstatus von Wetterdaten

Jeder meteorologische Wert, der in ZEPHYR2 eingetragen wird, ist neben seinem eigentlichen Wert durch seinen Status charakterisiert, der Verlässlichkeit bzw. Herkunft beschreibt (farblich gekennzeichnet, s.

Abbildung 8-1). Es gibt:

- Fremdmeßwert: z.B. Meßwerte des DWD und anderer Anbieter, die der Nutzer bezieht
- Eigenmeßwert: eigene, z.B. im Betrieb des Nutzers gemessene Werte
- Schätzung: geschätzter Wert, z.B. als Ersatz für einen fehlenden Meßwert; i.d.R. vorläufig, bis genauere Angaben vorliegen
- Prognose: Prognose- Werte von Anbietern (DWD) oder persönliche, prognostische Einschätzung des Nutzers
- berechneter Wert: PET, falls nicht direkt eingegeben oder importiert, sondern aus anderen Werten berechnet
- fehlender Wert: Fehlwert (-9999 gesetzt)

8.4 Einrichten von ZEPHYR auf nutzerspezifische Wetterquellen

Bevor Wetterdaten importiert werden, sollte die Übernahme von Wetterdaten, angepaßt an die Gegebenheiten des Nutzers (spezifische Wetterdatenquellen, Verzeichnisse), eingerichtet werden.

In **Kap. 8.2** sind die unterschiedlichen Möglichkeiten der Eingabe/ des Importes von Wetterdaten aufgeführt. Der Nutzer von ZEPHYR richtet die für ihn relevanten Wetterdatenquellen ein.

Die Einrichtung der Wetterdatenquellen erfolgt über folgende Schritte:

- WETTER
- WETTERQUELLEN VERWALTEN
- Auswahl der einzurichtenden Quelle (Beschreibung Quellen s. **Kap. 8.2**)
- Konfiguration der ausgewählten Quelle
hierbei sind vor allem folgende Angaben zu machen (wobei einige Angaben für die gewählte Datenquelle voreingestellt sind und nur bei Bedarf geändert werden sollten):
 - sofern es sich um Dateien handelt, die von einem Verzeichnis auf dem Rechner des Anwenders importiert werden sollen: Verzeichnis der Datei
 - Verlässlichkeitsstatus der Quelle entspr. **Kap. 8.3**
 - Eingabe Freischaltsschlüssel (bei Import Daten DWD-Klimastationen vom FTP-Server, s. Hinweise unten)

Hinweise:

- zur Übernahme von Wetterdaten vom Agrarmeteorologischen Dienst (FTP- SERVER) ist ein Freischaltsschlüssel notwendig (über ZEPHYR2- Kontaktpartner), s. **Kapitel 8.5.2**
- die Bezeichnungen der Wetterdatenquellen können geändert werden

8.5 Eingabe von Wetterdaten

Im Folgenden werden die Möglichkeiten der Eingabe der Wetterdaten kurz beschrieben.

8.5.1 Manuelle Eingabe

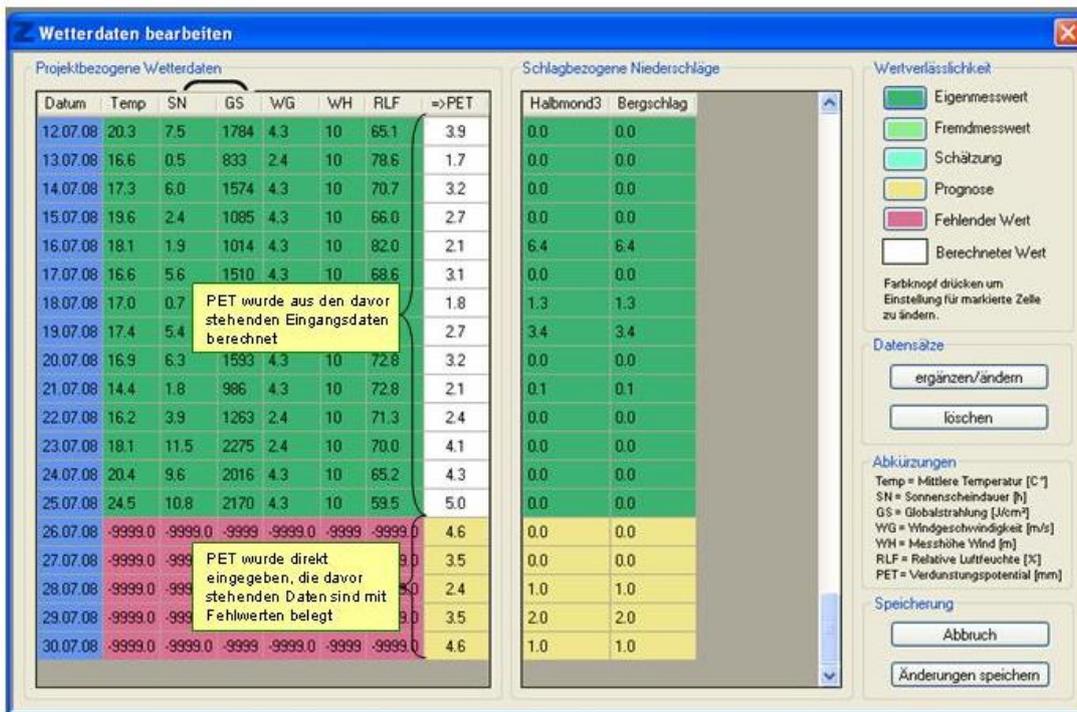
Die Manuelle Eingabe kann

- entweder direkt in der Tabelle (**Abbildung 8-1**) erfolgen (Veränderung von eingetragenen Werten, Achtung: es sollte immer gleich der Status (Werteverlässlichkeit) mit gekennzeichnet werden) oder
- in Fortsetzung der Tabelle über ein eigenes Fenster (**Abbildung 8-2**).

Folgende Vorgehensweise zur manuellen Eingabe der Wetterdaten:

- WETTER
- WETTERDATEN HINZUFÜGEN
- Datenquelle: „Manuelle Eingabe“
- WEITER
- es erscheint ein Fenster (
- **Abbildung 8-1**), in dem Wetterdaten direkt bearbeitet werden können (Werte und Status)

Abbildung 8-1. Tabelle der im Projekt eingetragenen Wetterdaten



- Datensätze ERGÄNZEN/ÄNDERN
- es erscheint folgendes Fenster zur Eingabe (**Abbildung 8-1**)
- einzugeben ist:
 - ggfs. Datum einstellen
 - Niederschlag eingeben und Gültigkeit bzgl. der Schläge (Empfehlung: zunächst „alle Schläge“ wählen, später Korrektur Niederschläge einzelner Schläge in Tabelle entspr. **(Abbildung 8-1)**)
 - Eingabe der Potentiellen Verdunstung PET alternativ in drei Varianten (**Abbildung 8-2**)
 - berechnen: Eingabe der Grund- Wetterdaten zur Berechnung von PET
 - schätzen: Einschätzung der allgemeinen Verdunstungsbedingungen an dem Tag (z.B. „mittel“: dies entspräche einem typischen Tag des entsprechenden Monats, „sehr hoch“ wäre ein - bezogen auf den Monat - warmer, sonniger, evtl. etwas windiger Tag mit entsprechend hoher Verdunstungsintensität usw.)
 - vorgeben: Direkteingabe der PET
 - Einstellung Werteverlässlichkeit (Meßwert, Prognose usw.)
 - SPEICHERN

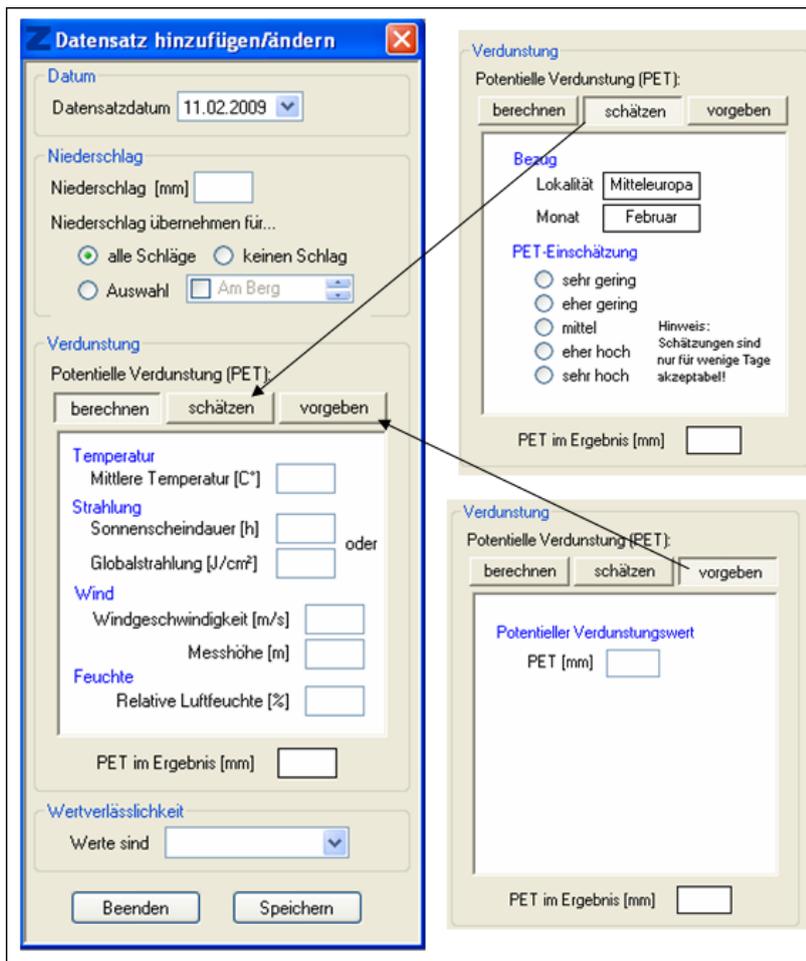


Abbildung 8-2. Optionen der manuellen Eingabe von Wetterdaten

8.5.2 Import Daten DWD-Klimastationen vom FTP-Server (über Server Ihres Anbieters ZEPHYR2)

Aus einem engräumigen Netz von Wetterstationen des DWD stellt der Meteorologische Dienst des DWD (DWD-FTP) Wetterdaten zur Verfügung, u.a. die für die Berechnungen mit ZEPHYR2 notwendigen Parameter Niederschlag N und Potentielle Verdunstung PET. Diese Werte sind über Ihren Administrator/Kontaktadresse von ZEPHYR2 beziehbar.

Hinweis:

Die Nutzung dieser Variante ist in vielen Fällen empfehlenswert, da recht sicher (weil von ZEPHYR2-Anbieter permanent betreut). Dennoch sind insbesondere die Niederschläge zu kontrollieren (Fehlwerte an einzelnen Tagen möglich), lokal anzupassen und zu korrigieren (da i.d.R. räumliche Abweichung).

Bei Nutzung des FTP-Server als Quelle täglicher Wetterdaten des DWD: Einrichtung des Stations- und Jahres- spezifischen Freischaltschlüssels

- Wenden Sie sich an den ZEPHYR2-Anbieter, um den Freischaltschlüssel der für Sie relevanten Station im aktuellen Jahr zu erhalten ...

... und gehen Sie nach Erhalt dieses Freischaltschlüssel wie folgt vor:

- WETTER
- WETTERQUELLEN VERWALTEN
- Auswahl der Wetterquelle; i.d.R. eine der Quellen „serv.....“ auswählen; die Einstellungen im Formular haben zu sein
 - Option „Daten aus dem Internet importieren“
 - Format „Wetterdienst DWD-Server“
 - Option „Werte sind ... Fremdmeßwerte“
- Button BEZEICHNUNG ÄNDERN → geben Sie hier einen sinnfälligen Namen ein, z.B. „serv_Erfurt_2025“
- Button EINSTELLUNGEN SPEICHERN
- im erscheinenden Formular: den übermittelten Freischaltschlüssel eingeben
- Button ÜBERNEHMEN → es erfolgt Prüfung Freischaltschlüssel → Rücksprung in das aufrufende Formular
- Button EINSTELLUNGEN SPEICHERN

Nach Freischaltung des Zugangs zu den Daten auf dem Server Ihres ZEPHYR2-Anbieters stehen die Werte täglich aktualisiert zur Verfügung.

Die Integration von Wetterdaten des Agrarmeteorologischen Dienstes vom Server des ZEPHYR2-Anbieters geschieht wie folgt: (Achtung: Computer muß mit Internet verbunden sein):

- WETTER
- WETTERDATEN HINZUFÜGEN
- Datenquelle: SERV...
- Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme Zeitpunkt zu wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen)
- WEITER, die Daten werden geladen
- evtl. VORSCHAU durchführen (zur visuellen Kontrolle)
- DATENIMPORT STARTEN → die Daten werden importiert

8.5.3 Import von Niederschlag N und Potentieller Verdunstung PET (Tageswerte) über eine Textdatei im CSV- Format (Bezeichnung Datenquelle: CSV DATEI N+PET)

Mitunter liegen die notwendigen Tageswerte N und PET in einer Quelle vor, für die es in ZEPHYR2 noch keine direkte Zugriffsmöglichkeit gibt (z.B. EXCEL- oder Textdatei in einem beliebigen Format). Diese Werte können natürlich per Hand über „Manuelle Eingabe“ eingegeben werden,

wenn es nur wenige Daten sind. Handelt es sich um viele Daten, ist es günstiger, eine von ZEPHYR2 lesbare Datei zu erstellen.

Es handelt sich hierbei um eine Textdatei im CSV-Format (*.CSV), die das folgende Format haben muß (nur Datumangaben und Zahlen, ohne die erklärenden Einfügungen in der ersten Zeile des nachstehenden Fensters!)

```
Datum;(Trennzeichen Semikolon!)Niederschlag;PET
01.03.08;0;2.3
02.03.08;3.5;3.1
usw.
```

Beispiel zur Erzeugung der Datei:

Es liegen die notwendigen Daten in einer EXCEL-Tabelle vor; die Ordnung der Daten ist jedoch evtl. anders als gefordert. → Folgendes Vorgehen:

- die Datumsangabe darf keine Uhrzeit mitführen (ggfs. umformatieren)
- Prüfung, ob N und PET in mm vorliegen (andernfalls umformen)
- Spalten werden in die o.a. Reihenfolge gebracht
- aus der Tabelle werden alle überflüssigen, mit Inhalt belegten Zellen/Spalten/Zeilen gelöscht
- speichern der Tabelle im Format „CSV (Trennzeichen-getrennt)“, möglichst in entspr. dem in **Kap 8.4.** eingestellten Verzeichnis
- Kontrollansicht der CSV-Datei im Texteditor (hinsichtlich überflüssiger Zeilen, z.B. zuviel Semikolon am Ende von Datensätzen)

(Anmerkung: hinsichtlich PET gelten auch hier die in **Kapitel 8.1.2.1** gegebenen Erläuterungen und Hinweise)

Importieren der Daten mit ZEPHYR2 über

- WETTER
- WETTERDATEN HINZUFÜGEN
- Datenquelle: „CSV DATEI N+PET“
- Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme Zeitpunkt zu wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen)
- WEITER
- Auswahl der Datei, welche die Daten enthält
- die Daten werden importiert

8.5.4 Import von Niederschlag N und Daten zur Berechnung Potentieller Verdunstung PET (Grunddaten Temperatur, Strahlung usw.) über eine Textdatei im CSV-Format (Bezeichnung Datenquelle: CSV DATEI N+Temp++)

Mitunter liegen die notwendigen Tageswerte N sowie die zur Berechnung von PET nach PENMAN-WENDLING notwendigen Daten (Temp, SN oder GS, WG, WH, RLF, s. **Tabelle 8-3**) in einer Datei vor,

für die es in ZEPHYR2 noch keine direkte Zugriffsmöglichkeit gibt (z.B. EXCEL- oder Textdatei in einem beliebigen Format, die Ihre Wetterstation erzeugt). Günstiger als eine manuelle Eingabe ist es auch hier, eine von ZEPHYR2 lesbare Datei zu erstellen.

Es handelt sich hierbei wiederum um eine Textdatei im CSV- Format (*.CSV), die das folgende Format haben muß (nur Datumangaben und Zahlen, ohne die erklärenden Einfügungen in der ersten Zeile des nachstehenden Fensters!).

```
Datum;(Trennzeichen Semikolon!) Temp;SN;GS;WG;WH;RLF;N
01.03.2008;6.5;0;-9999;5;10;86;6.2
02.03.2008;6.7;0.4;-9999;5;10;85.6;11.1
03.03.2008;5.6;1;-9999;6.4;10;81.6;1.3
usw.
```

Das Vorgehen zur Erzeugung der Datei ist wie im **Beispiel** oben (**Kap. 8.5.3**), wobei folgende Besonderheiten zu beachten sind:

die Werte müssen in Maßeinheiten vorliegen wie nach **Tabelle 8-3** (andernfalls umrechnen)

i.d.R. liegt entweder SN (Sonnenscheindauer) oder alternativ GS (Globalstrahlung) vor – in der Spalte, für die keine Werte vorliegen (im obigen Beispiel GS), ist als Platzhalter für der Fehlwert „-9999“ für alle Datensätze einzutragen; liegen sowohl SN und auch GS vor, so ist GS die bevorzugte Variante (→ SN = „-9999“ setzen)

Importieren der Daten mit ZEPHYR über

- WETTER
- WETTERDATEN HINZUFÜGEN
- Datenquelle: „CSV DATEI N+TEMP+“
- Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme Zeitpunkt zu wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen)
- WEITER
- Auswahl der Datei, welche die Daten enthält
- die Daten werden importiert

8.5.5 Frei verfügbare Daten des Deutschen Wetterdienstes DWD

Der DWD stellt auf seiner Internetseite für eine begrenzte Zahl von Stationen Meßwerte (i.d.R. immer bis „gestern“ oder „vorgestern“) kostenfrei zur Verfügung. In einem Umkreis von etwa 50 km um den Ort der Messung (je nach Klimadifferenzen des Gebietes und Wetterlagen mehr oder weniger) sind diese Werte (außer Niederschlag!) meistens ausreichend repräsentativ. Die importierten Niederschläge sind i.d.R. anschließend lokal bezogen zu korrigieren.

Wird diese Arte der Übernahme gewählt, wird der Weg in die DWD- Internetseite gewiesen.

Die Integration von frei verfügbaren DWD- Wetterdaten geschieht wie folgt:

- WETTER

- WETTERDATEN HINZUFÜGEN
- Datenquelle: DWD WETTERDATEN ONLINE
- WEITER
- Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme Zeitpunkt zu wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen)
- nach WEITER erscheint die Internetseite „Klimadaten Deutschland“
- Option Zeitliche Auflösung: „Tageswerte“ auswählen
- Station auswählen und „Anzeigen“, es erscheint eine Liste mit Werten → visuelle Kontrolle Vollständigkeit Werte im relevanten Zeitraum (wenn nicht vollständig: Import nicht durchführen, da Gefahr Werteverchiebung)
- unten grüne Leiste „Hier drücken um Daten ...“ wählen
- evtl. VORSCHAU durchführen (nochmalige visuelle Kontrolle Plausibilität !)
- DATENIMPORT STARTEN → die Daten werden importiert

Hinweis:

wenn alternativ auch die Nutzung der Option „Import von FTP-Server“ (**Kapitel 8.5.2**) möglich ist, so wird jene empfohlen

8.5.6 DLR Wetterdaten

Hierbei handelt es sich um ein spezifisches Format von Wetterstation des DLR (Deutsche Luft- und Raumfahrt); dieses Format sollte nur nach Rücksprache mit dem ZEPHYR2-Anbieter genutzt werden und wird an dieser Stelle nicht weiter besprochen.

8.5.7 Eingabe oder Import von Wetterprognosen

8.5.7.1 Manuelle Eingabe von Wetterprognosen

Jeder Landwirt hat stets eine konkrete Vorstellung bzgl. des am jeweils heutigen Tag und in den kommenden Tagen zu erwartenden Wetters. Diese Erwartung bzgl. des Wetters kann als Wetterprognose in die Wetterdaten von ZEPHYR2 einfließen. Dies erfolgt als manuelle Eingabe entsprechend **Kap. 8.5.1** (s. dort). Zu beachten ist hierbei:

- bei der Eingabe der Potentiellen Evapotranspiration PET (s. **Abbildung 8-2**) ist die Option „schätzen“ i.d.R. zu empfehlen
- bei der Eingabe der ‚Werteverlässlichkeit‘ ist die Option „Prognose“ zu wählen.

8.5.7.2 Import der Wetterprognose des DWD

Der Deutsche Wetterdienst DWD stellt für eine Vielzahl von Orten Wetterprognosen zur Verfügung, die mehrmals täglich aktualisiert werden. Dabei handelt es sich sowohl um Tages- als auch Stundenwerte von Wetterelementen, die auch für die Arbeit mit ZEPHYR2 für folgende Punkte relevant sind:

- die Tages-Prognosewerte von Niederschlag und Potentieller Evapotranspiration bei der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik (entsprechend **Kapitel 11**)
- die Stundenwerte verschiedener Wetterelemente sind eine Grundlage zur Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in Abhängigkeit von Wetter und Bodenfeuchte (entsprechend **Kapitel 15**)

Um die Wetterprognosen des DWD in die Wetterdaten, mit denen die Berechnungen zur Bodenfeuchtedynamik nach **Kapitel 11** erfolgen sollen, einzubeziehen, ist wie folgt zu verfahren:

1. Import und Darstellung der Wetterprognose des DWD

Wetterprognose DWD wie folgt importieren

- WETTER } o. Button WETTERPROGNOSE
- WETTERPROGNOSE DWD } DWD
- folgen Sie den Anweisungen → s. hierzu nachstehende Anmerkungen sowie **Abbildung 8-3**
- nach Einholung der Daten Abschluß mit Button WETTERPROGNOSE SCHLIEßEN UND DATEN FÜR BERECHNUNGEN VERFÜGBAR HALTEN

Anmerkungen:

*Insbesondere hinsichtlich der Niederschlagsmenge (Tageswert) mag die Einschätzung des ZEPHYR2-Nutzers von derjenigen in der DWD- Prognose abweichen; insofern besteht hier – sobald die Darstellung nach **Abbildung 8-3** sichtbar - direkt die Möglichkeit der Korrektur. Diese Möglichkeit besteht auch hinsichtlich der Tageswerte der Potentiellen Verdunstung PET – an dieser Stelle i.d.R. sicher nur selten genutzt.*

Bei PET treten in der DWD- Prognose erfahrungsgemäß des öfteren Fehlwerte auf, welche mit mittleren Tageswerten des jeweiligen Monats aufgefüllt werden können (erfolgt automatisch nach Abfrage).

*Den PET- Prognosewerten des DWD liegt eine etwas andere Berechnungsmethode zugrunde als in ZEPHYR2 verwendet (s. hierzu **Kapitel 8.1.2.1**). Aus diesem Grunde erfolgt hier eine Umrechnung zum Wert „Potentielle Verdunstung Zephyr2“, der dann für die Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik Verwendung findet.*

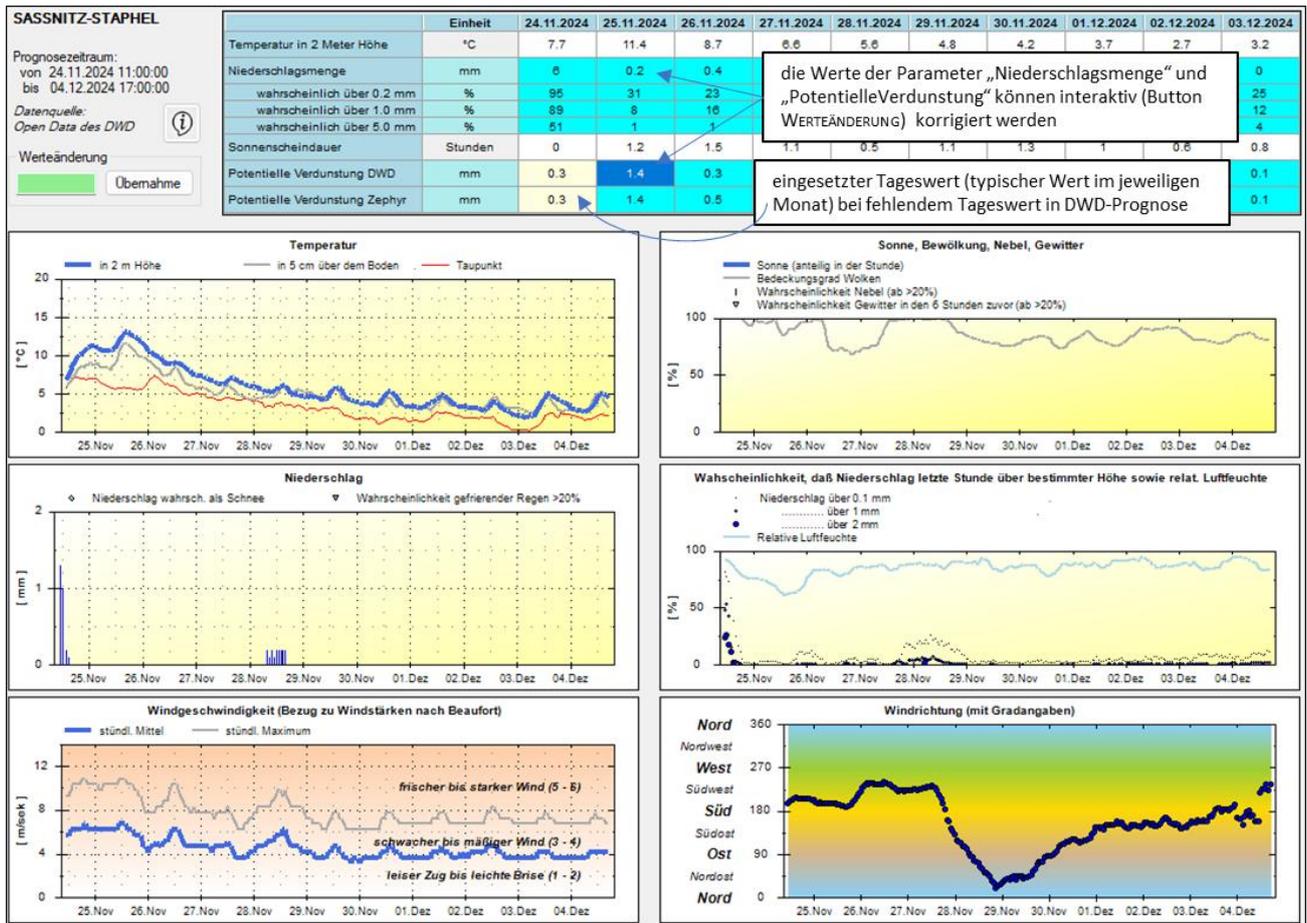


Abbildung 8-3. Darstellung Wetterprognose DWD in ZEPHYR2

2. Integration DWD-Prognosewerte in ZEPHYR2- Wetterdaten zur Berechnung der Bodenfeuchtedynamik

Übernahme der eingeholten DWD-Wetterprognose als Teil der ZEPHYR2-Wetterdaten, mit denen die Bodenfeuchteberechnungen erfolgen sollen

- WETTER
 - WETTERDATEN HINZUFÜGEN
 - Datenquelle: DWD-Prognosedaten
 - WEITER
 - Zeitraum wählen (i.d.R. als Beginn der Übernahme den Zeitpunkt wählen, ab dem noch keine Meßwerte vorliegen)
 - nach Button WEITER übernimmt ZEPHYR2 die zuvor eingeholten Prognose-Wetterdaten
 - evtl. VORSCHAU durchführen (zur visuellen Kontrolle)
 - DATENIMPORT STARTEN → die Daten werden importiert
- } o. Button WETTERDATEN HINZUFÜGEN

9 Flurnahe Grundwasserstände berücksichtigen

Bei grundwassernahen Standorten (d.h. in ZEPHYR2: dem Schlag wird aus dem Bodenkatalog ein Grundwasser-beeinflußter Boden zugeordnet) kann der Grundwassereinfluß auf die Bodenfeuchtedynamik und auf die Wasserversorgung der Pflanzen hoch sein. Daher sollte der Berücksichtigung der Grundwasserstände ggfs. eine entsprechende Bedeutung zugemessen werden. Wenn im Verlauf der Wachstumsperiode keine Werte des Grundwasserstandes eingegeben werden, wird ganzjährig der typische, mittlere Grundwasserstand als gültig angenommen, der zum ausgewählten Bodentyp gehört.

Die Funktion wird, wie oben schon erwähnt, nur für Schläge geschaltet, deren Boden als grundwasserbeeinflußt gekennzeichnet ist, was bei der Charakteristik der Böden im Bodenkatalog geschieht und dort ersichtlich ist.

Der Grundwasserstand wird als Grundwasserflurabstand in cm eingegeben.

Die Eingabe des Grundwasserstandes geschieht wie folgt

- GRUNDWASSER
- GRUNDWASSER BEARBEITEN
- Auswahl des Schlages (nur Schläge mit grundwasserbeeinflußten Böden möglich)
- Anklicken des untersten Datums
- Einstellen Datum
- Eingeben zugehöriger Grundwasserflurabstand (ganze cm)
- Button EINTRAG SPEICHERN

folgende **Hinweise**:

- *die Werte des Grundwasserstandes zu Beginn und Ende des Projektjahres (1. Januar des Projektjahres und 1. Januar Folgejahr) sind mit der Auswahl des Bodens automatisch vorgegeben und nicht veränderbar*
- *werden Grundwasserflurabstände zu unterschiedlichen Terminen eingeben, wird der Wasserstand zwischen den Terminen bei den Berechnungen mit ZEPHYR2 tagesbezogen interpoliert*

10 Bewässerung eingeben

Hier werden die bereits durchgeführten oder geplanten Bewässerungsmaßnahmen mit Termin und Menge sowie Art der Bewässerung (Beregnung, Tropfbewässerung) als Tageswert eingegeben.

Die Bewässerungsmaßnahme gilt für den ausgewählten Schlag. Wenn ein Schlag geteilt wird (unterschiedliche Beregnung von Teilschlägen), so sind ggfs. mehrere Schläge anzulegen.

Folgende Bewässerungsvarianten sind z.Zt. vorgesehen

- Beregnung: d.h. konventionelle Beregnung über dem „Kopf“ der Pflanzen
- Tropfbewässerung: hier wird berücksichtigt, daß keine Interzeptionsverluste (Verdunstung von durch die Blattoberfläche aufgefangenem Beregnungswasser) wirksam sind; außerdem kann die Zwiebel- förmige Einsickerung von Wasser in den Boden grob angenähert berücksichtigt werden (entsprechender bodenbezogener Parameter ist in den Bodenkennwerten gespeichert)

Die Bewässerungsmaßnahme Grundwassereinstau/ Grundwasseranstau wäre in der Eingabe der Grundwasserstände zu berücksichtigen.

Die Eingabe der Bewässerung erfolgt wie nachstehend dargelegt:

- BEREGNUNG
- BEREGNUNG BEARBEITEN
- Schlag wählen
- Anklicken des untersten Datums
- Datum einstellen
- Art der Bewässerung auswählen (z.Zt. „Beregnung“ oder „Tropfbewässerung“)
- Bewässerungsmenge (Tagessumme) eingeben [in mm]
- Button EINTRÄGE SPEICHERN

11 Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik durchführen

11.1 Prüfung der Eingangsdaten

Wurden entsprechend den vorstehenden Punkten die erforderlichen Daten erfaßt, können die Berechnungen zur Bodenfeuchteentwicklung durchgeführt werden, welche die Basis für die ab **Kapitel 12** beschriebenen Auswertethemen sind.

Bevor eine Berechnung durchgeführt wird, sollte kontrolliert werden, ob alle erforderlichen Eingaben vorliegen.

Mit dem Button **BERECHNUNG DETAILS EINRICHTEN UND AUSFÜHREN** wird ein schneller Überblick verfügbar

In dem erscheinenden Fenster werden oben links alle Schläge des Projektes aufgeführt. Wird ein Schlag „eingeschaltet“, so wird angezeigt, für welche Zeiträume die notwendigen Daten vorliegen, s. **Abbildung 11-1**.

Hinweis zu den Pflanzendaten: Es muß mindestens eine Kultur ausgewählt sein; der Balken zeigt den Zeitraum der Kultur auf dem Schlag an; für die nicht gekennzeichneten Zeiträume wird Schwarzbrache angenommen → es liegen also automatisch immer Pflanzendaten für das ganze Jahr vor, sobald mindestens eine Kultur gewählt wurde.

Abbildung 11-1. Formular Kontrolle Eingangsdaten, weitere Einstellungen und Durchführung Berechnung (linker Teil)

Der grüne Balken unten („Ergebnisse“) zeigt an, für welchen Zeitraum Berechnungen bereits durchgeführt wurden und als Ergebnis vorliegen.

Die „Ampel“ rechts (**Abbildung 11-1**) bedeutet bzgl. des eingeschalteten Schlages:

- dunkelgrün: Ergebnisse der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik liegen vor; diese entsprechen dem Stand der eingegebenen Daten (bzgl. Wetter, Pflanzeneinstellung, ...)
- hellgrün: Ergebnisse der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik liegen vor; diese entsprechen jedoch nicht dem Stand der eingegebenen Daten; um zu neuen Berechnungsergebnissen zu kommen, die dem aktuellen Stand der Eingabedaten entsprechen, muß eine neue Berechnung durchgeführt werden
- gelb: Ergebnisse der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik liegen (noch) nicht vor; es kann eine Berechnung durchgeführt werden (es liegen die erforderlichen Informationen vor)
- rot: z.Zt. kann keine Berechnung erfolgen, da noch notwendige Daten fehlen.

Die Farbmarkierung der „Schalter“ der Schläge hat die gleiche Bedeutung.

11.2 Vorbereitung der Berechnung

11.2.1 Festlegung Berechnungszeitraum

Im unteren linken Teil des Fensters nach **Abbildung 11-1** ist entsprechend den verfügbaren Eingangsdaten immer der Zeitraum dargestellt, für den eine Berechnung erfolgen kann. Innerhalb der möglichen Zeitspanne kann der Berechnungszeitraum (von – bis) eingestellt werden.

Hinweis:

Die Eingabe eines bestimmten Startzeitpunktes der Berechnung („von“) kann z.B. sinnvoll sein, wenn die Bodenfeuchte zu einem bestimmten Zeitpunkt eingeschätzt oder gemessen wurde und der Berechnungsstart auf diesen Zeitpunkt gelegt werden soll. Häufig ist ein Zeitpunkt um den Frühjahrsbeginn ein solches Datum, da hier oft Frühjahrsfeuchte (Feldkapazität) unterstellt wird oder evtl. kartiert wurde (z.B. 1. März). Der Berechnungsbeginn sollte i.d.R. deutlich vor dem Zeitraum des Hauptwachstums der Frucht und besonders vor kritischen, trockenheitsempfindlichen Phasen liegen. Dies ist unbedingt zu empfehlen, damit sich gewisse Ungenauigkeiten in der Einschätzung der Startbodenfeuchte wieder weitgehend „aufgefangen/egalisiert“ haben.

11.2.2 Festlegung der Startbodenfeuchte

Für den Zeitpunkt des Starts der Berechnungen muß die Bodenfeuchtesituation bekannt bzw. möglichst realitätsnah eingeschätzt sein. Sie muß eingestellt werden, wobei folgende Optionen bestehen (s. **Abbildung 11-1**):

- „Boden hat Feldkapazität“ ist eine i.d.R. zu empfehlende Option, wenn die Berechnungen im Frühjahr vor Beginn der Periode mit deutlicher Pflanzenverdunstung beginnen („Frühjahrsfeuchte“ resp. „Feldkapazität“) ohne daß genauere Angaben (z.B. aus Messungen oder aus Berechnungen aus dem Vorjahr) vorliegen

- „Startbodenfeuchte eingestellt - qualitativ“: liegen zum Termin des Berechnungsbeginns erkennbar keine Bedingungen „Feldkapazität“ vor (z.B. nach trockenem oder extrem nassem Winter oder wenn der Boden bei gewähltem Berechnungsbeginn im Sommer trockener ist), so ist es erforderlich, die Startbodenfeuchte aller Schichten einzustellen; in der mit „qualitativ“ bezeichneten Option werden hierzu qualitative Angaben zur Bodenfeuchte gemacht („trocken“, „feucht“ usw.)
- „Startbodenfeuchte eingestellt - Saugspannungen“: diese Option unterscheidet sich von der vorigen Variante insofern, als konkrete Werte der Saugspannung des Bodens in jeder Schicht als Startwerte eingestellt werden; diese Werte sind entweder gemessen oder geschätzt oder sie ergeben sich unter bestimmten Voraussetzungen aus Berechnungen im Vorjahr (mit dem Ziel, an eine Vorjahr bis zum 31. Dez. durchgeführte Berechnung im aktuellen Jahr am 1. Jan. direkt anzuschließen zu können)

Hinweis:

Es ist zu beachten, daß bei Folgeberechnungen (z.B. bei wöchentlichen Berechnungen im Zuge der Beregnungssteuerung) i.d.R. die Startbodenfeuchte gegenüber der vorhergehenden Berechnung nicht verändert werden sollte, da sonst unterschiedliche Bodenfeuchteverläufe berechnet werden. Dies ist i.d.R. automatisch gewährleistet, da sich das System die Starteinstellung der letzten Berechnung merkt und in der Folgerechnung als Voreinstellung vorgibt.

In den folgenden Unterkapiteln werden die Optionen inhaltlich und hinsichtlich der Einstellung erläutert.

11.2.2.1 Option „Boden hat Feldkapazität“

Für jeden Boden sind in der hinterlegten Bodentabelle (Datenbank) Werte der Feldkapazität (Bodenwassergehalte) schichtweise gespeichert, die hier bei Wahl dieser Option eingesetzt werden.

Option „Boden hat Feldkapazität“ wie folgt einstellen

- Auswahl der Option „Boden hat Feldkapazität“ (s. **Abbildung 11-1**)

11.2.2.2 Option „Startbodenfeuchte eingestellt - qualitativ“

Option „Startbodenfeuchte eingestellt - qualitativ“ wie folgt einstellen:

- Auswahl der Option „Startbodenfeuchte eingestellt - qualitativ“ (s. **Abbildung 11-1**)
- ggfs. NEUEINSTELLUNG DER START- BODENFEUCHTE (sofern nicht bei vorhergehenden Berechnungen erfolgt)

im erscheinenden Formular sind folgende Einstellungen vorzunehmen:

- ggfs. DATUM anpassen (das Datum bezeichnet den Termin, für den die Einstellungen gelten, also z.B. den Termin der zugrunde liegenden Bohrung/Kartierung; das Datum hat informativen Charakter)
- Anpassen der Bodenfeuchte in allen Tiefen an Ihre Einschätzung (s. hierzu nachstehende Bemerkungen)
- SPEICHERN

Bemerkungen:

- Wenn die Bodenfeuchte zu Berechnungsbeginn nicht der Feldkapazität entspricht, ist die hier besprochene Option „Einschätzung der Startbodenfeuchte – qualitativ“ eine zu empfehlende Option
- Grundlage der Einstellung können z.B. auch Erfahrungswerte zur Bodenfeuchte unter den gegebenen Bedingungen sein. I.d.R. wäre aber zu empfehlen, die Einschätzung aufgrund einer Bohrung vorzunehmen. Es versteht sich, daß die Genauigkeitsanforderungen der Einschätzung der Bodenfeuchte in tieferen Schichten i.d.R. abnehmen, besonders wenn die Berechnungen für flachwurzelnde Pflanzen erfolgen sollen.
- Wird die Einschätzung der Startbodenfeuchte aufgrund einer Bohrung vorgenommen, so sollte diese Einschätzung der Bodenfeuchte schichtweise anhand des in **Anlage 1** dargestellten Kartierschlüssels erfolgen, der gute Ergebnisse liefert und einfach handhabbar ist.

11.2.2.3 Option „Startbodenfeuchte eingestellt – Werte der Saugspannung“ sowie Berechnungen „von Jahr zu Jahr“

Bei dieser Option werden Werte der Saugspannung für jede Dezimeter-Schicht des Bodens (somit bis in 18 dm Tiefe für 18 Schichten, s. **Abbildung 4-3**) als Startbodenfeuchte festgelegt. Dies geschieht in einer nachstehend beschriebenen **Varianten**.

1. Variante: manuelle Vorgabe der Werte Saugspannung

Bei dieser Variante sind die Werte der Saugspannung⁵ schichtweise manuell einzugeben. Es wird i.d.R. davon ausgegangen, daß diese Option vor allem dann genutzt wird, wenn Meßwerte der Saugspannung zur Verfügung stehen (z.B. über fest installierte Tensiometer oder – oft relativ unsicher - mittels Einstichtensiometer). Grundlage der Einstellung können aber evtl. auch hier Erfahrungswerte zur Saugspannung unter den gegebenen Bedingungen sein.

Option „Startbodenfeuchte eingestellt - Saugspannungen“ wie folgt einstellen:

- Auswahl der Option „Startbodenfeuchte eingestellt - Saugspannungen“ (**Abbildung 11-1**)
- ggfs. NEUEINSTELLUNG DER START- BODENFEUCHTE (sofern nicht bei vorhergehenden Berechnungen erfolgt)

im erscheinenden Formular folgende sind Einstellungen vorzunehmen:

- ggfs. DATUM anpassen (das Datum bezeichnet den Termin, für den die Einstellungen gelten, also z.B. den Termin der zugrunde liegenden Bohrung; es hat informativen Charakter)
- Anpassen der Saugspannung in allen Tiefen an Ihre Einschätzung/ Messung
- SPEICHERN

Bemerkungen:

- auch hier gilt, daß die Genauigkeitsanforderungen der Einschätzung der Saugspannung in tieferen Schichten i.d.R. abnehmen, besonders wenn die Berechnungen für flachwurzelnde Pflanzen erfolgen sollen.
- auf die Option „gemessene Bodenwassergehalte als Startbodenfeuchte (als Bodenfeuchte in Vol-%)“ wurde bewußt verzichtet, da hier größere Probleme nur unter Beachtung vieler Randbedingungen vermeidbar wären.

⁵ zum Begriff „Saugspannung“ und seiner Erläuterung s. **Anlage 4**

2. Variante: Übernahme der Bodenfeuchte (Saugspannungen) von Berechnungen aus dem Vorjahr

Die Nutzung dieser Variante geschieht mit dem Ziel, an eine im Vorjahr bis zum 31. Dez. durchgeführte Berechnung (Projekt aus dem Vorjahr) im aktuellen Jahr direkt eine neue Berechnung (Projekt aktuelles Jahr) am 1. Jan. anzuschließen. Hierbei wird die für den 31. Dez. Vorjahr von ZEPHYR2 berechnete Bodenfeuchte (Saugspannung) als Startbodenfeuchte am 1. Jan. im aktuellen Jahr übernommen.

Wenn es möglich ist, die Berechnungen als Fortsetzung von Berechnungen aus dem Vorjahr anzusehen und durchzuführen, so ist die Wahl dieser Variante unbedingt zu empfehlen!

Die Struktur von ZEPHYR2 ist so angelegt, daß Berechnungen grundsätzlich immer innerhalb eines Kalenderjahres erfolgen; somit sind mehrjährige Berechnungen des Bodenfeuchteverlaufes auf direktem Wege nicht möglich. Die hier besprochene Variante ist aber die geeignete Möglichkeit, den Gang der Bodenfeuchte auch über mehrere Jahre mit ZEPHYR2 zu berechnen.

Die Wahl dieser Option setzt voraus:

- für den jeweils relevanten Schlag waren im Vorjahr Berechnungen bis zum 31. Dezember durchgeführt worden
- die Berechnungen im aktuellen Jahr starten am 1. Januar
- hinsichtlich der weiteren Randbedingungen besteht Konsistenz zwischen Vorjahr und aktuellem Jahr (Beispiel: hinsichtlich Pflanzenbestand war im Vorjahr Winter-Weizen bis 31. Dez. relevant → die Berechnung wird am 1. Jan. mit Winter-Weizen im gleichen Pflanzenstadium fortgesetzt)

Option „Startbodenfeuchte eingestellt - Saugspannungen“ wie folgt einstellen:

- Auswahl der Option „Startbodenfeuchte eingestellt - Saugspannungen“ (**Abbildung 11-1**)
- ggfs. NEUEINSTELLUNG DER START- BODENFEUCHTE (sofern nicht bei vorhergehenden Berechnungen erfolgt)

im erscheinenden Formular werden ggfs. die Berechnungsfälle aufgelistet (i.d.R. ein Fall, jedoch mehrere Fälle möglich) für welche im Vorjahr Berechnungen zu dem Schlag bis 31. Dez. durchgeführt worden waren:

- Auswahl des Berechnungsfalles, der für die Übernahme der Saugspannungen relevant sein soll
- ÜBERNEHMEN der Saugspannungen → die Werte werden automatisch in die Schichttabelle links eingetragen (d.h. Saugspannung 31.Dez. Vorjahr = Saugspannung 1.Jan. aktuelles Jahr)
- SPEICHERN

11.3 Start der Berechnungen

Anschließend starten der Berechnung mit Button **BERECHNUNG SCHLAG STARTEN** (**Abbildung 11-1**).

Beim Öffnen des Berechnungsformulars lt. **Abbildung 11-1** mit Button **BERECHNUNG DETAILS EINRICHTEN UND AUSFÜHREN** wird als alternative Berechnungsmöglichkeit (neben der schlagweisen Berechnung) die **Berechnung aller Schläge im Set** angeboten. Diese Option kann genutzt werden, wenn sicher ist, daß die auf den vorigen Seiten beschriebenen Kontrollen der Daten erfolgt und die Startbedingungen der Berechnung korrekt eingestellt sind. Außerdem sind die Restriktionen zu beachten, die im Formular genannt sind.

12 Ergebnisse der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik (allgemeiner Teil)

Es ist das Ziel von ZEPHYR2, Landwirten und anderen Anwendern sowohl allgemeine Berechnungsergebnisse der Bodenfeuchtedynamik eines Standortes/Schlages mitzuteilen, als auch diese soweit wie möglich aufzubereiten und zu interpretieren, um den Landwirt bei konkreten Entscheidungen im landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsprozeß zu unterstützen. Mit diesen interpretierenden Ergebnissen befassen sich die Kapitel in **Teil E** des Handbuchs.

Die allgemeine, übersichtsartige Darstellung der Bodenfeuchtedynamik des betreffenden Standortes dient dem Verständnis der Gesamtsituation und dazugehöriger Details und ist insofern nicht nur von theoretischem Interesse, sondern auch in Entscheidungsprozessen von Bedeutung.

So ist die Bodenfeuchtesituation beispielsweise relevant für die Frage, inwieweit in einer gegebenen Situation der Einsatz von Düngern (z.B. bei späteren Gaben) oder Pflanzenschutzmitteln noch sinnvoll erscheint. Auch Szenarienberechnungen („Wie entwickelt sich die Situation, wenn ab heute normales/ trockenes/ feuchtes Wetter eintritt?“) können eine sinnvolle Ergänzung sein, was in **Kapitel 17** beschrieben wird.

12.1 Aufruf und Ausgabe der Ergebnisse

Aufruf der Darstellung allgemeine Ergebnisse Bodenfeuchtedynamik (Übersicht) mit:

- Auswahl des relevanten Schlages (Menue linke Bildschirmspalte)
 - BODENFEUCHTE
 - BODENFEUCHTE UND PFLANZENWASSERVERSORGUNG
- } o. Button BODENFEUCHTE UND PFLANZENWASSERVERSORGUNG (ÜBERSICHT)

Der Ergebnisbericht kann am Bildschirm zur Kenntnis genommen und interpretiert werden; für den Ausdruck (Drucker, pdf-Dokument) ist das Verfahren des Bildschirmprint (screenshot) zu nutzen.

Anmerkungen:

- *Standardmäßig erfolgt die Darstellung der Ergebnisberichte als Registerkarte; es ist jedoch alternativ möglich, die Darstellung in einem separaten Formular vorzunehmen, was dann ebenso für die anderen Ergebnisdarstellungen (Berechnungsempfehlung, Versickerung usw.) gilt; hierzu: PROJEKT → EINSTELLUNG FENSTER ERGEBNISSE → REGISTERKARTEN oder SEPARATE FENSTER wählen (Hinweis: grundsätzlich wird die Darstellung als Registerkarte empfohlen; die Alternative als separates Fenster mag günstiger sein, wenn die Registerkarte aufgrund der Bildschirmgröße nicht komplett dargestellt wird und eine Ausgabe des jeweiligen Fensters als screenshot erfolgen soll)*
- *neben der Ausgabe auf dem Bildschirm besteht die Option der Ausgabe der Berechnungsergebnisse als Textdatei (CSV-Format), womit die Möglichkeit einer weiter- Arbeit mit den Ergebnissen entsprechend den Erfordernissen und Vorstellungen des Nutzers, z.B. in EXCEL, gegeben ist; die Option dürfte aber vor allem für wissenschaftliche Fragestellungen von Interesse sein; wenden Sie sich diesbezüglich an Ihren ZEPHYR2- Kontaktpartner*

12.2 Inhalt der Darstellung der allgemeinen Ergebnisse Bodenfeuchtedynamik

12.2.1 Charakteristik von Randbedingungen und allgemeine Angaben zur Situation

Neben allgemeinen Angaben (Betrieb, Schlag, Frucht) werden tabellarisch für den Berechnungszeitraum die Niederschlagssummen (Monatssummen; beachten: nur der Teil des Monats, der zum Berechnungszeitraum gehört) ausgewiesen. Zusätzlich sind zum Vergleich und zur Einordnung die langjährigen Mittel der Monats-Niederschlagssummen einer Referenz-Wetterstation dargestellt. Diese Station ist für den Nutzer wählbar bzw. es können auch eigene Referenzwerte der Monate vorgegeben werden; s. hierzu **Kapitel 17.2.2**⁶.

Die Grafik oben links ‚*Klimatische Wasserbilanz plus Bewässerung*‘ weist Tageswerte der Klimatischen Wasserbilanz KWB (Niederschlag N minus Potentielle Verdunstung PET) und der Bewässerung aus.

Hinweis

In die Graphiken kann hineingezoomt werden; auch die Ablesung von Einzelwerten ist möglich (rechte Maustaste).

12.2.2 Charakteristik von Bodenfeuchtesituation und Pflanzenwasserversorgung

Bodenfeuchtedynamik und Pflanzenwasserversorgung werden in einer Reihe von Aspekten dargestellt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse in Ihrer Bedeutung für die Bewertung von Bodenfeuchte und Pflanzenwasserversorgung erläutert, auch Hinweise zur Interpretation werden gegeben. Eine Erläuterung von wichtigen einzelnen Begriffen erfolgt im Anhang (s. **Anlagen**).

1. Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität [%nFK] im Wurzelraum

(Grafik ‚*nFK im Wurzelraum (%nFK-We)*‘ in Prozent, **Abbildung 12-1**)

Dargestellt ist die berechnete Bodenfeuchte im zum jeweiligen Zeitpunkt von der Pflanze durchwurzelten Raum [in Prozent der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum, Begriff: s. **Anlage 3**]. Diese wird der Optimumgrenze (‘Grenzbereich Optimum’) gegenübergestellt, also dem Bedarf der Pflanzen für eine optimale Ertragsbildung in unterschiedlichen Entwicklungsphasen der Pflanze; die Pflanzen können als gut versorgt gelten, solange die berechnete Bodenfeuchte über der Optimumgrenze liegt, wobei kurzzeitige, nicht gravierende Unterschreitungen i.d.R. tolerabel sind (Grenzen optimaler Bodenfeuchte lassen sich nicht für alle Zeiträume der Pflanzenwachstumsperiode angeben). Teilweise wird noch eine kritische untere Grenzlinie (‘untere tolerable Grenze’) eingezeichnet; diese weist auf Bodenfeuchten hin, deren Unterschreitung besonders kritisch sind. Auf spezifische Situationen wird weiter in **Anlage 3** hingewiesen, insbesondere sollte bei noch gering bedecktem Boden

⁶ **Kapitel 17.2.2** bezieht sich auf die Konfiguration von Szenario- Berechnungen; die in diesem Zusammenhang ausgewählte relevante Wetterstation ist aber auch hier – also bei der tabellarischen Darstellung monatlicher Referenzwerte - die Bezugs-Station

auch die Bodenfeuchte in einzelnen Schichten betrachtet werden. Auch der Zusammenhang zum folgenden Punkt (AET/PET) ist zu sehen. Angaben zu optimalen Bereichen der Bodenfeuchte in %nFK-We für eine Vielzahl von Fruchtarten finden sich in Anlage 2.

2. Graphik ‚Relation aktuelle zu potentielle Verdunstung (AET/PET)‘ in Prozent (**Abbildung 12-1**)

Das Diagramm drückt die aktuelle (reale) Verdunstung AET am Standort relativ zur potentiellen Verdunstung PET am Standort aus (Begriffserläuterungen hierzu s. **Anlage 5** sowie **Kapitel 8.1.2.1**). Beurteilt wird hierbei, ob und bis zu welchem Grad die Pflanzen situationsabhängig in der Lage sind, den Verdunstungsanspruch der Atmosphäre zu decken. Je weiter der Wert unter 100% sinkt, um so stärker schränkt der Standort (Standort als Pflanze plus Boden) aufgrund des Austrocknungsgrades seine (reale) Verdunstung gegenüber der potentiellen Verdunstung ein; Werte von 80% bis 100% weisen auf eine gute Wasserversorgung der Pflanzen hin, Werte unter 40% zeigen i.d.R. zunehmenden Trockenstreß der Pflanzen. Hinsichtlich der Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanzen ist die dargestellte Größe von hoher Relevanz, allerdings erst bei Bedeckungsgraden der Pflanze ab etwa 70-80% (s. wiederum weitere Hinweise in der **Anlage 5**).

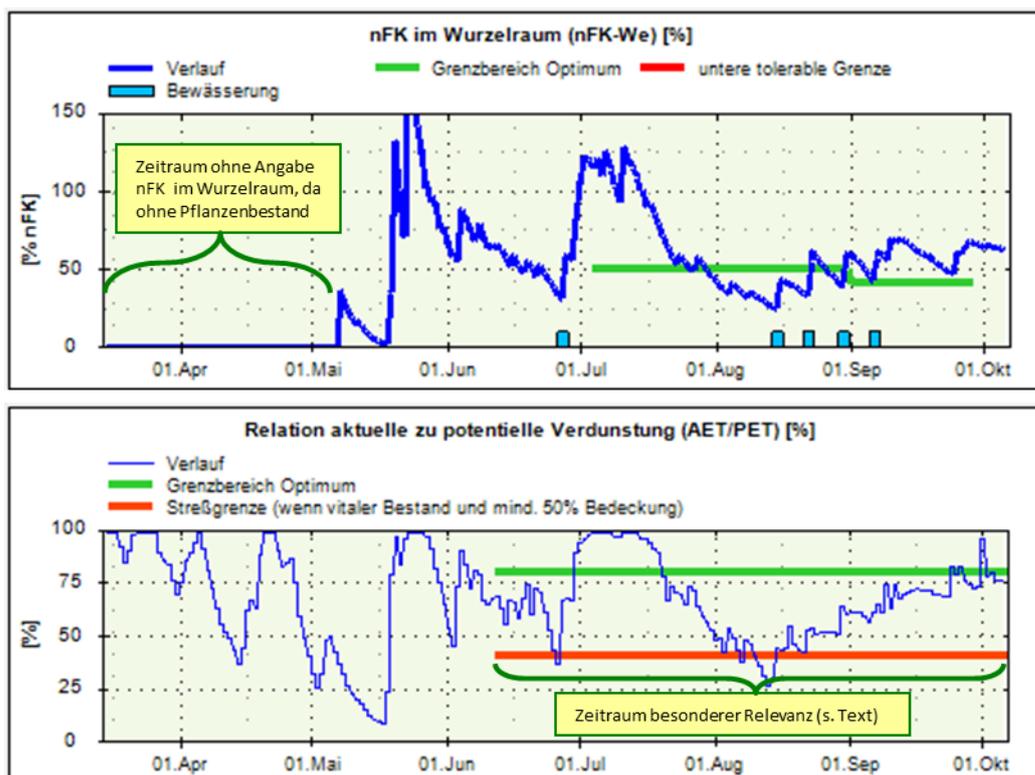


Abbildung 12-1. ‚Nutzbare Feldkapazität (%nFK-We) im Wurzelraum‘ und ‚Relation aktuelle zu potentielle Verdunstung‘ (AET/PET) in der Darstellung der Ergebnisse der Bodenfeuchteberechnungen

3. Block-Schema zur zeitlichen und tiefenbezogenen Entwicklung der Bodenfeuchte [%nFK]
(Grafik *„Bodenfeuchte [%-nFK]“*)

Über die Legende als Teil der Darstellung ist diese Grafik selbsterklärend.

4. Verlauf der Bodenfeuchte in drei ausgewählten Tiefen

Hierbei

- a) können die drei Tiefen gewählt werden (wobei z.B. ‚1‘ → Schicht 0-1 dm)
- b) kann der dargestellte Parameter zur Bodenfeuchte gewählt werden aus den Optionen:
 - Bodenfeuchte in Prozent nutzbare Feldkapazität [% nFK]⁷
 - Bodenfeuchte als Saugspannung [hPa] bzw. [cm Wassersäule WS]⁸
 - Bodenfeuchte als Wassergehalt [-] (d.h. dimensionslos bzw. cm^3/cm^3 , durch Multiplikation mit 100 → ergibt Wassergehalt in Vol.-%)

Die Graphik (insbesondere Darstellung %nFK) ergänzt die Angabe der Bodenfeuchte im Wurzelraum (s. Ziffer 1 oben), indem sie zusätzlich die tiefenbezogene Verteilung der Bodenfeuchte verdeutlichen (z.B. als Hinweis darauf, daß u.U. noch recht hohe Bodenfeuchte in tieferen Schichten trotz starker Austrocknung der oberen Schicht).

Die Darstellung des Saugspannungsverlaufes kann eine wesentliche ergänzende Information zur Beurteilung der Wasserversorgung der Pflanzen sein bzw. mag u.U. sogar aussagekräftiger als die Angabe der %nFK sein. Dies trifft häufig bei stark Grundwasser-beeinflußten Standorten zu, wo die Angabe von nFK-Werten problematisch ist.

5. Entwicklung des pflanzenverfügbaren Bodenwasservorrates [mm bzw. Liter/m²]

(Grafik *„Bodenwasservorräte“*, **Abbildung 12-2**)

Für die Beurteilung der Pflanzenwasserversorgung eines Standortes ist nicht allein der zum jeweiligen Zeitpunkt aktuelle Status der Bodenfeuchte, also die momentane Intensität der Wasserversorgung wesentlich (die unter Pkt. 1 bis 5 beschriebenen Größen stellen durchgehend derartige „Intensitäts“-Parameter dar), sondern es ist ebenso bedeutsam, zu beurteilen, welche Menge Pflanzen- nutzbaren Wassers im Boden noch verblieben ist („Kapazitäts“-Parameter) und über welche Zeit der Boden die Pflanzen noch mit Wasser versorgen kann (d.h. allein aus dem Boden, somit ohne Berücksichtigung von Niederschlägen).

⁷ Erläuterung s. **Anlage 3**

⁸ Erläuterung s. **Anlage 4**

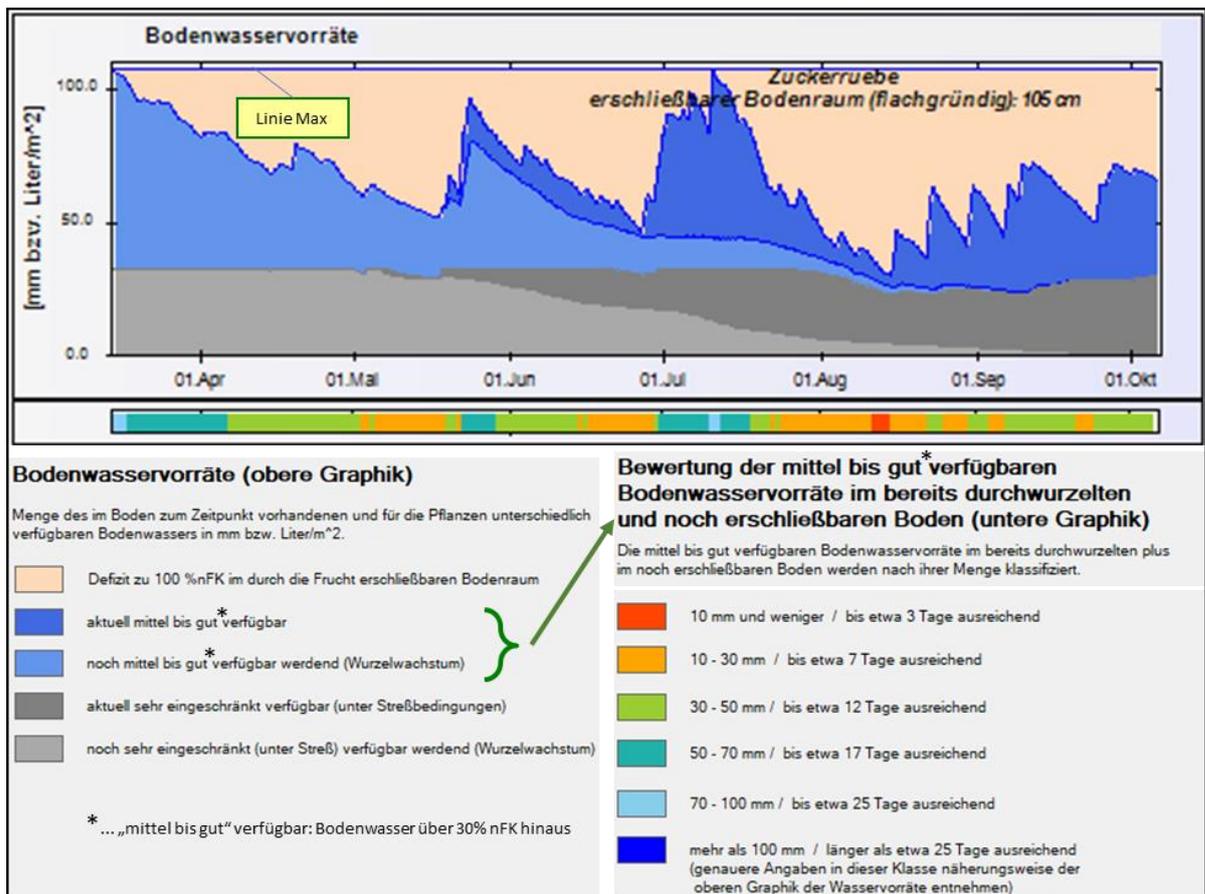


Abbildung 12-2. Entwicklung von pflanzenverfügbarem Bodenwasservorrat und der voraussichtlich verbleibenden Dauer der Wasserversorgung der Pflanzen aus dem Boden

Das **Beispiel** beschreibt eine mögliche Art der Interpretation des Inhalts von **Abbildung 12-2**.

- auf dem sandigen, flachgründigen Boden beträgt die max. verfügbare Wassermenge im 105 cm mächtigen Wurzelraum der Zuckerrübe 107 mm entspr. 107 Liter/m² (Linie Max), dies entspricht 100 %nFK-We (nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum)
- bei Start der Berechnungen (15. März) entspricht der Bodenwasservorrat diesem Wert von 107 mm
- bis zum Auflaufen der Pflanzen Anfang Mai ist der Bodenwasservorrat deutlich (auf ca. 60 mm) gesunken, was auf Versickerung und auch auf Verdunstung (von der Bodenoberfläche, da Pflanzen noch ohne Einfluß) zurückzuführen ist
- Mitte Mai sind die Pflanzen aufgelaufen; insgesamt steht den Pflanzen zu dem Zeitpunkt eine Wassermenge von etwa 60 mm zur Verfügung; gut bis mittel verfügbar sind etwa die Hälfte, also 30 mm (allerdings ist nur sehr wenig in der aktuell durchwurzelten Zone von wenigen cm verfügbar, das meiste wird erst mit dem Wurzelwachstum nutzbar); weitere 30 werden nur unter Streßbedingungen von den Pflanzen genutzt, da sie relativ fest an den Boden gebunden sind
- Mitte Juli ist die Situation deutlich verändert: die Menge an gut und mittel verfügbarem Bodenwasser hat sich deutlich (durch Niederschlag und Bewässerung) erhöht und erreicht wieder etwa 107 mm entsprechend 100 %nFK
- Mitte August ist eine kritische Situation zu verzeichnen; das mittel und gut nutzbare Bodenwasser beträgt nur noch etwa 10 mm; diese Menge reicht für die Pflanzen noch für etwa 3 Tage (untere Grafik); darüber hinaus sind noch etwa 25 mm verfügbar, jedoch nur unter Streßbedingungen anschließend bessert sich die Pflanzenwasserversorgung durch Regen und Bewässerung wieder

Teil D. Entscheidungsrelevante Interpretation der Bodenfeuchtedynamik

13 Bewässerungsbedarf von Pflanzenbeständen (Berechnungsempfehlung)

Ziel der Ermittlung und Darstellung des Bewässerungsbedarfs von Pflanzenbeständen ist es, dem Landwirt für den zurückliegenden Zeitraum, vor allem aber auch für den gegenwärtigen Zeitpunkt und prognostisch für die kommenden Tage Informationen zum Status der Pflanzenwasserversorgung einschließlich seiner Bewertung zu geben und Angaben zum erforderlichen Zusatzwasserbedarf zu machen, falls Berechnungsbedarf besteht.

13.1 Aufruf und Ausgabe Berechnungsempfehlung

Aufruf der Darstellung Berechnungsempfehlung mit:

- Auswahl des relevanten Schlages (Menue linke Bildschirmspalte)
 - BERECHNUNGSBEDARF
 - B. STAND AKTUELL (VARIANTE A)⁹
- } o. Button BERECHNUNGSBEDARF

Der Ergebnisbericht kann am Bildschirm zur Kenntnis genommen und interpretiert werden; für den Ausdruck (Drucker, pdf-Dokument) ist das Verfahren des Bildschirmprints (screenshot) zu nutzen.

Anmerkung:

Standardmäßig erfolgt die Darstellung der Ergebnisberichte als Registerkarte; es ist jedoch alternativ möglich, die Darstellung in einem separaten Formular vorzunehmen, was dann ebenso für die anderen Ergebnisdarstellungen (Versickerung usw.) gilt ;

hierzu: PROJEKT → EINSTELLUNG FENSTER ERGEBNISSE → REGISTERKARTEN oder SEPARATE FENSTER wählen

⁹ die Nutzung der Variante A wird empfohlen; eine alternative Darstellungsmöglichkeit besteht mit Variante B

(Hinweis: grundsätzlich wird die Darstellung als Registerkarte empfohlen; die Alternative als separates Fenster mag günstiger sein, wenn die Registerkarte aufgrund der Bildschirmgröße nicht komplett dargestellt wird und eine Ausgabe als screenshot erfolgen soll)

13.2 Inhalt Darstellung in der Berechnungsempfehlung

13.2.1 Allgemeine Kennzeichnung des Berechnungsfalles

Es werden allgemeine Angaben (Betrieb, Schlag, Boden, Frucht) gemacht.

Die Graphik oben links ‚*Klimatische Wasserbilanz plus Bewässerung*‘ im ‚Berechnungsbericht‘ weist Tageswerte der Klimatischen Wasserbilanz KWB (Niederschlag N minus Potentielle Verdunstung PET) und der Bewässerung aus.

Hinweis:

In die Graphiken kann hineingezoomt werden; auch die Ablesung von Einzelwerten ist möglich (rechte Maustaste).

13.2.2 Charakteristik von Bodenfeuchtesituation und Pflanzenwasserversorgung als Grundlage der Einschätzung des Beregnungsbedarfes

Folgende Inhalte werden als Verlauf spezifischer Einzelparameter graphisch ausgewiesen:

- Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität [%nFK] im Wurzelraum (im Kontext zu pflanzenbezogenen Anforderungen)
- Relation aktuelle zu potentielle Verdunstung (AET/PET) in Prozent
- Verlauf der Bodenfeuchte in drei ausgewählten Tiefen (alternativ: nutzbare Feldkapazität, Bodenfeuchte als Saugspannung, Bodenfeuchte als Wassergehalt)

Hinsichtlich des Inhaltes der dargestellten Parameter wird auf **Kapitel 12.2.2** verwiesen, wo diese Parameter bereits erläutert wurden, einschließlich der dort genannten Anlagen, die der Erläuterung bestimmter Größen dienen.

Bodenfeuchtesituation, Pflanzenwasserversorgung und weitere Angaben zum Beregnungsbedarf sind für die letzten Tage des Berechnungszeitraumes (i.d.R. der „heutige Tag“, einige Tage zuvor, und die folgenden Prognose-Tage) auch zahlenmäßig in einer Tabelle (s. **Abbildung 13-1**) dargestellt. Hinsichtlich der Größen, die nicht bereits oben (mit Verweis auf **Kapitel 12.2.2**) beschrieben wurden, werden in den folgenden Hinweisen noch einige Erläuterungen gegeben.

Monat	Mai															
Tag	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Pflanzenstadium	Fahne...															
Bedeckungsgrad	[%]	100														100
Durchwurzel.Tiefe	[cm]	58			60											63
Niederschlag	mm	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referenzverdunst...	mm	1.6	3	2.3	3	3.1	3.3	3.1	2.5	4	5	5	4	5	4	4
Beregnung	mm								30							
Bodenfeuchte: berechnet / Optimumgrenze																
	[% nFK im Wurzelraum]	77 / 60	71 / 60	64 / 60	57 / 60	51 / 60	44 / 60	40 / 60	36 / 60							
Aktuelle(Reale) anteilig zu Potentieller Verdunstung	[AET/PET in %]	78	73	72	71	71	62	57	50							
Abfluß (positiv: Versickerung vs. negativ: Kapillaraufstieg)	[mm]	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1							
erforderliches Zusatzwasser(*) für Erreichen ... 80 %nFK	[mm] (neg.: Überschuß !)	2	6	11	16	20	25	28	31							
... 100 %nFK	[mm]	16	20	25	30	34	39	42	45							

■ Zeitraum Meßwerte
■ Zeitraum Prognose, Schätzung
 heute
(*) ... bei Beregnung evtl. 2-3 mm erhöhen (Verdunstungsverluste)

Bodenfeuchte berechnet/ Optimumgrenze

am (heutigen) Tag 13. Mai liegt die Bodenfeuchte mit 64 %nFK im Wurzelraum etwas über der Optimumgrenze (60%nFK), die Pflanzenwasserversorgung ist gut

in den folgenden Tagen sinkt jedoch die Bodenfeuchte unter die Optimumgrenze → Beregnungsbedarf

reale Verdunstung am Standort

am (heutigen) 13. Mai kann (wegen noch hoher Bodenfeuchte) durch die reale Verdunstung 72 % der potentiellen Verdunstung realisiert werden, was nur knapp unter dem Optimum (80%) ist

in den folgenden Tagen sinkt die reale Verdunstung gegenüber der potentiellen Verdunstung prozentual immer weiter → Beregnungsbedarf

Versickerung: an allen Tagen findet ein sehr geringer Kapillaraufstieg (Wert: -0,1 mm) aus dem Untergrund in den Bodenbereich statt

erforderliches Zusatzwasser zum Erreichen einer Bodenfeuchte von 80 bzw. 100 %nFK

entscheidet der Landwirt „heute“ (13. Mai) bei Zutreffen der Wetter-Prognose voraussichtlich am 16. Mai zu beregnen, so wären zur Auffüllung des Bodens auf eine Zielfeuchte von 80% nFK 25 mm und zur Auffüllung auf 100 %nFK 39 mm Zusatzwasser (Beregnung) erforderlich (+ 2mm Zuschlag für Verdunstungsverluste)

Abbildung 13-1. Tabellarische Angaben zur Einschätzung des Beregnungsbedarfes eines Pflanzenbestandes (mit Erläuterung Bsp.: Winter-Gerste)

Hinweise

Ergebnisparameter **„Abfluß“**: die tägliche Versickerungsrate [in mm] kann in Zusammenhang mit Beregnungsgaben als Kontrollgröße für (unproduktive) Versickerungsraten angesehen werden; bei negativem Vorzeichen zeigt der Wert die Wassernachlieferung durch kapillaren Aufstieg aus dem Untergrund an (insbesondere bei Grundwasserstandorten relevant); eine graphische Darstellung erfolgt in der Beregnungsempfehlung nicht, sie erfolgt jedoch im separaten Thema ‚Tiefenversickerung‘

Ergebnisparameter **„erforderliche Zusatzwassermenge zum Erreichen von 80% nFK im Wurzelraum (bzw. 100% im Wurzelraum)“**: **!Angaben dienen der Festlegung der Bewässerungsmenge (Beregnungsgabe)!**

- positive Werte zeigen das Defizit an Wasser [in mm] im Wurzelraum an, das zum Erreichen der angezeigten Bodenfeuchte (80 bzw. 100 %nFK im Wurzelraum) am jeweiligen Tag besteht → daraus ergibt sich die notwendige Beregnungsmenge (wobei 1-3 mm für unproduktive Verdunstung bei der Beregnung aufzuschlagen sind)
- i.d.R. sollte der Boden durch Bewässerung auf etwa 100% nFK im Wurzelraum (100 %nFK-We) aufgefüllt werden; in Abhängigkeit von der Situation (z.B. Wetterprognose, Entwicklungsstand der Pflanzen) kann das Ziel der Bewässerung jedoch auch unter oder aber leicht über 100% nFK-We liegen (etwa im Bereich 80 bis 115%nFK-We; zu beachten ist hierbei: Bodenfeuchten deutlich über 100%nFK-We → führen oft zu unproduktiver Versickerung; eine Auffüllung des Bodenwassers durch Bewässerung auf Werte deutlich unter 100%nFK-We → vermindert dagegen die Durchfeuchtung tieferer Schichten im Wurzelraum)
- negative Werte zeigen einen Wasserüberschuß an, um den die Wassermenge im Wurzelraum am jeweiligen Termin noch oberhalb 80 bzw. 100 %nFK-We liegt

Die Darstellung der Beregnungsempfehlung bietet die Möglichkeit der Eintragung eines eigenen Kommentars (beispielsweise durch einen Berater zur Übermittlung an den Landwirt).

14 Tiefenverlagerung von Sickerwasser und gelösten Stoffen im Boden

Die Verlagerung insbesondere vieler Stickstoffdünger von der Bodenoberfläche in die Tiefe korrespondiert in starkem Maße mit der Geschwindigkeit der Sickerwasserbewegung.

In einem bestimmten zeitlichen Abstand zu Düngergaben kann sich, vor allem nach niederschlagsreichen Zeiträumen, die Frage stellen, in welcher Tiefe sich der Dünger befindet und ob er wahrscheinlich noch im Wurzelraum der Pflanzen vorliegt, welche Bodenfeuchteverhältnisse in dieser Tiefe vorherrschen und wie gut er damit pflanzenverfügbar ist.

Diese Problematik hat neben der landwirtschaftlich- pflanzenbaulichen auch eine starke ökologische Bedeutung hinsichtlich einer Verminderung von Stoffeinträgen in das Grundwasser und mittelbar in andere Gewässer.

ZEPHYR2 berechnet diesen Prozeß der Sickerwasserverlagerung in die Tiefe und stellt ihn in Form sogenannter Sickerwasserfronten (**Abbildung 14-1**) dar, welche Einschätzungen i.S. der vorgeannten Problemstellungen zulassen. Ebenfalls dargestellt wird der zeitliche Verlauf der täglichen Sickerraten an der Untergrenze des Bodenprofils (d.h. in 180 cm Tiefe) oder in einer bestimmten Tiefe innerhalb des Bodens.

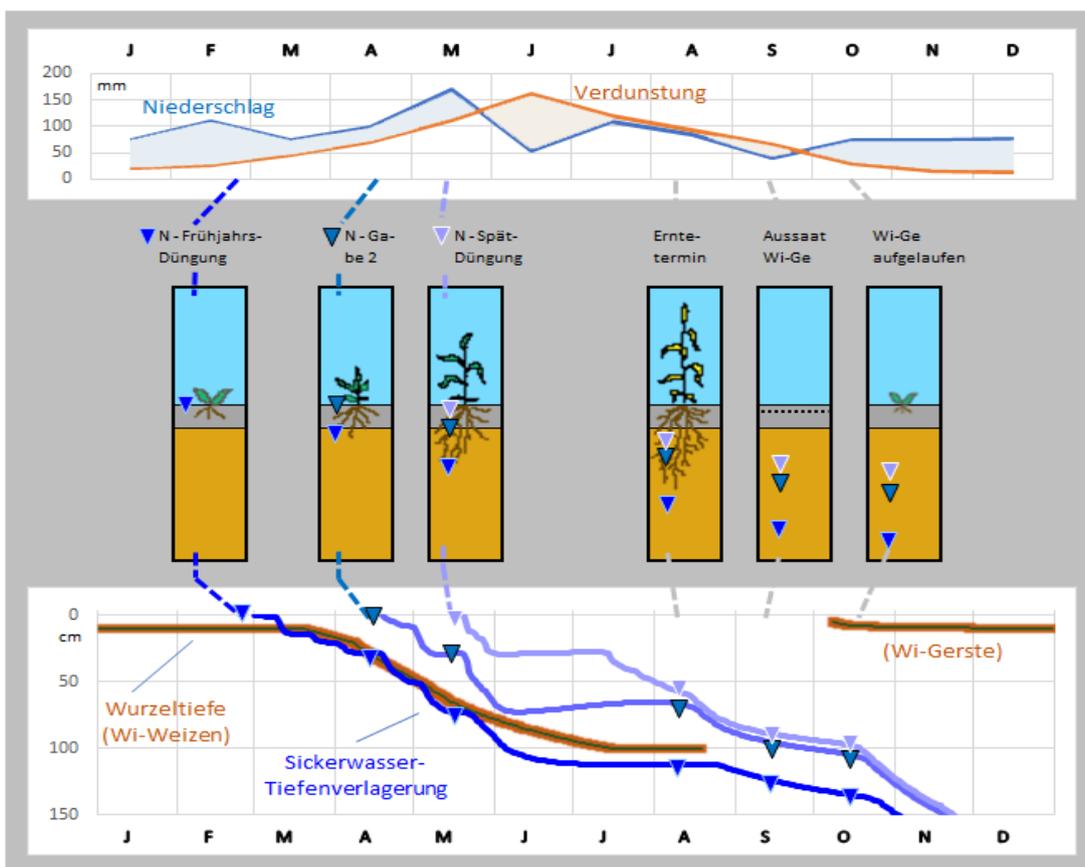


Abbildung 14-1. Verlauf der Tiefenverlagerung des Sickerwassers und gelöster Stoffe (z.B. Nitrat) im Boden in Zusammenhang mit zu bestimmten Terminen erfolgten Düngergaben und in Abhängigkeit von der Witterung (Beispiel: Abfolge der Früchte Winter-Weizen vor Winter-Gerste)

14.1 Festlegung von Sickerpunkten

Die Definition eines **Sickerpunktes** legt für einen bestimmten Termin in einer bestimmten Tiefe im Boden einen (gedachten) Punkt fest, dessen weitere Bewegung mit dem Sickerwasser in die Tiefe zeitlich verfolgt wird. Endpunkt der Betrachtung dieser Bewegung ist zumeist die Untergrenze des (ZEPHYR2)- Bodens, also die Tiefe 180 cm, kann aber auch – bei vorwiegend nach oben gerichteter Wasserbewegung, d.h. bei kapillarem Wasseraufstieg – die Bodenoberfläche sein. Da sich das Interesse an der Bewegung eines Sickerpunktes meist im Zusammenhang mit Düngungsmaßnahmen ergibt (**Abbildung 14-1**), liegt auf der Hand, daß ein Sickerpunkt meist an der Bodenoberfläche oder in den oberen cm des Bodens gesetzt wird (s. jedoch auch nachstehenden Hinweis).

Hinweis:

*Die Festlegung einer anderen Tiefe (als die Bodenoberfläche) für den Start des Sickerpunktes, also unter der Bodenoberfläche, erfolgt dagegen vor allem dann, wenn ein Sickerpunkt aus dem Vorjahr weiter in seiner Bewegung verfolgt wird; in diesem Fall ist die Tiefe des gesetzten Sickerpunktes am 1. Januar des aktuellen Jahres gleich der Endtiefe am 31. Dezember des Vorjahres zu setzen (zu beachten ist hierbei, daß die Berechnung im aktuellen Jahr mit einer Startbodenfeuchte lt. **Kap. 11.2.2.3, Pkt. 2** einzustellen ist (Übernahme Bodenfeuchte Ende Vorjahr als Startbodenfeuchte aktuelles Jahr)).*

Zur Festlegung von Sickerpunkten:

- PFLANZENSCHUTZ UND STOFFVERLAGERUNG
- EINGABE SICKERPUNKTE
- Bearbeitung entweder eines vorhandenen Punktes, soweit gegeben (Auswahl) oder Button NEUEN PUNKT EINGEBEN
- nach Tätigung der Eingaben: Button PUNKT ÜBERNEHMEN

zu beachten:

Das Datum des Beginns der Bewegung des einzugebenden Punktes muß innerhalb des Berechnungszeitraumes liegen, für den die Bodenfeuchtesimulation erfolgen soll (sonst ist bzgl. des jeweiligen Punktes keine Berechnung möglich).

14.2 Durchführung der Berechnung der Tiefenverlagerung Sickerpunkte

Die Berechnung der Tiefenverlagerung von Sickerpunkten erfolgt im Zuge der Bodenfeuchte-Simulationsrechnungen, wenn bei der Vorbereitung der Berechnungen (**Kapitel 11.2**) im entsprechenden Formular (**Abbildung 11-1**) nach Auswahl des relevanten Schläges die Option „WEGE SICKERPUNKTE BERECHNEN“ ausgewählt wird (Häkchen).

14.3 Aufruf Ergebnisse der Berechnung und Inhalt

Aufruf der Darstellung Tiefenverlagerung Sickerpunkte mit:

- Auswahl des relevanten Schlages (Menue linke Bildschirmspalte)
- PFLANZENSCHUTZ UND STOFFVERLAGERUNG } o. Button VERSICKERUNG UND STOFFVERLAGERUNG
- SICKERUNG - STOFFVERLAGERUNG)

Anmerkung

Neben der Ausgabe auf dem Bildschirm besteht die Option der Ausgabe der Berechnungsergebnisse als Textdatei (CSV-Format), womit die Möglichkeit für den Anwender besteht, mit den Ergebnissen entsprechend den eigenen Erfordernissen und Vorstellungen weiter zu arbeiten, z.B. in EXCEL; die Option dürfte aber vor allem für wissenschaftliche Fragestellungen von Interesse sein; wenden Sie sich diesbezüglich an Ihren ZEPHYR2-Kontaktpartner.

Für die festgelegten **Sickerpunkte erfolgt graphisch die Darstellung der Verlagerung nach Zeit und Tiefe** (in etwas anderer Weise als **Abbildung 14-1**, jedoch ähnlich). Daraus sind auch Aussagen zur Tiefenverlagerung von Stoffen, die im Sickerwasser gelöst sind und mit ihm vertikal verlagert werden, ableitbar, z.B. in Zusammenhang mit Düngergaben. Es versteht sich, daß die Betrachtung der Sickerwasserbewegung unter dem Gesichtspunkt der Verlagerung von Stoffen in ZEPHYR2 nur für solche Stoffe korrekte Ergebnisse liefert, bei denen Sorptionsprozesse mit der Bodenmatrix nicht oder fast nicht stattfinden (d.h. nicht retardierende Stoffe, z.B. Nitrat); weiterhin ergeben sich aus der Berechnung keine Aussagen, ob im Boden durch Umsetzungsprozesse ein Stoffabbau stattgefunden hat oder wieviel des Stoffes von den Pflanzen aufgenommen wurde und wie sich entsprechend die mit dem Wasser transportierte Stoffmenge/Stoffkonzentration verändert hat. ZEPHYR2 berechnet die Sickerwasserbewegung zudem in der Weise, daß die Bewegung von Stoffen in sog. Sickerwasserfronten stattfindet (piston-flow). Das bildet die tatsächliche Bewegung von Wasserteilchen (einschließlich gelöster Stoffe) somit nur teilweise ab. Real weist diese Bewegung auch einen zufälligen Anteil auf, was zur Verwischung der Front führt (Dispersion) und wodurch Teile des Wassers (und des gelösten Stoffes) vorausseilen, andere Teile sich dagegen mit Verzögerung bewegen.¹⁰

Weiterhin weist ZEPHYR2 graphisch die täglichen **Sickerwasserraten** an der Untergrenze des (ZEPHYR2)- Bodens (in 180 cm Tiefe) und in einer weiteren Tiefe (welche benannt ist) auf. Im Falle, daß keine Versickerung, sondern **kapillarer Aufstieg** stattfindet, werden diese Werte als Sickerraten mit negativem Vorzeichen abgebildet.

¹⁰ hinsichtlich der Modellierung der Stoffdynamik im Boden auch unter Berücksichtigung von Sorptionsprozessen, stofflichen Umsetzungsprozessen, Quellen/Senke und Dispersionsprozessen muß auf andere Berechnungsmodelle verwiesen werden

15 Bodenfeuchte, Witterung und Einsatz von Pflanzenschutzmitteln

Das Programm ZEPHYR2 beinhaltet einen begrenzten Teil- Aspekt des Pflanzenschutzes (zunächst bzgl. Herbizideinsatz). Es sollen keine Aussagen zum pflanzenbaulichen Erfordernis einer Pflanzenschutzmaßnahme und zur Zweckmäßigkeit des Einsatzes in Bezug zu Art, Stadium und Zustand der Pflanzen getroffen werden, sondern es geht um eine **Situationsbewertung zum Einfluß des Wetters und der Bodenfeuchte auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln**. Hintergrund ist, daß bei der Ausbringung eines Herbizides entsprechend seiner Spezifik bestimmte Anforderungen an Wetter und Bodenfeuchte bestehen können bzw. daß auch im Wirkzeitraum die Effektivität des Mittels von Wetter und Bodenfeuchte i.d.R. beeinflußt wird.

Die Wetterprognosen werden vom DWD importiert (i.d.R. Stundenwerte), die Bodenfeuchte wird vom Modell berechnet.

Diese Pflanzenschutz- bezogene Komponente von ZEPHYR2 befindet sich noch deutlich in der Entwicklung. Erfahrungen und Diskussionen werden hier noch zu Veränderungen und Präzisierungen führen. Es ist im praktischen Einsatz also hier in besonderem Maß zu empfehlen, die Ergebnisse des Modells kritisch im Licht eigenen Wissens und eigener Erfahrung zu betrachten. Nicht nur, aber gerade an dieser Stelle ist der Entwickler des Modells für Hinweise und Kritik dankbar.

15.1 Grundlagen der Bewertung

15.1.1 Bewertungsansatz, Methode

Neben der Frage der Zweckmäßigkeit/ Notwendigkeit einer Pflanzenschutz- Maßnahme aus pflanzenbaulicher Sicht (welche NICHT Gegenstand der Beurteilung mit ZEPHYR2 ist) ist selbstverständlich auch zu einzuschätzen ist, ob witterungs- und bodenfeuchtebezogen günstige Voraussetzungen für die Wirksamkeit eines PSM bestehen. Dies ist Gegenstand der Bewertung mit ZEPHYR2. Hierzu zählen die Aspekte, ob die Pflanze das Mittel im erforderlichen Maß unter den gegebenen Umständen aufnehmen kann und ob es im Wirkzeitraum auch optimal wirken kann. Anhand vieler Beispiele werden die zu beachtenden Zusammenhänge z.B. von BOUMA (2009) ausgeführt.

Hinsichtlich der berücksichtigten Pflanzenschutzmittel gelten z.Zt. in ZEPHYR2 folgende Maßgaben:

- aktuell sind nur Herbizide in die Bewertung einbezogen
- die in der Datenbank (Katalog) aktuell enthaltenen Herbizide sind charakterisiert bzgl.
 - Name Herbizid und/oder Wirkstoff bzw. Wirkstoffkombination, z.T. Formulierung
 - Wirkungspfad (Blatt oder/und Boden)
 - Ziel-Fruchtart (z.Zt. Getreide, Raps, Zuckerrüben, Mais, Kartoffeln); für die Fruchtarten ist i.d.R der Zeitpunkt der Betrachtung relevant nach den Merkmalen
 - ✓ Voraufbau / Nachaufbau
 - ✓ Stadium BBCH
 - Wertebereichen von Umweltparametern, in denen der Einsatz des Herbizids möglich, problematisch oder nicht möglich ist (s. nachstehend die Liste der relevanten Umweltparameter).

Es werden folgende Umweltparameter bewertet

- Lufttemperatur (Tagesmittel, Anzahl Stunden innerhalb bestimmter Temp.spanne, Stundenwerte)
- Niederschlag (Wahrscheinlichkeit Regen größer 0,1 mm (Stundenwerte) sowie zeitliche Dauer Regen)
- Relative Luftfeuchte (Stundenwerte)
- Globalstrahlung (Tagessumme, Anzahl Stunden mit bestimmter Strahlungsintensität, Stundenwerte)
- Taupunkt (bzgl. Temperatur in 2 m Höhe, Stundenwerte)
- Windgeschwindigkeit (Stundenwerte)
- Bodenfeuchte (Tagesperioden-Werte an der Bodenoberfläche (Tiefe 0-1 dm) und in 0-3 dm Tiefe als Hauptwurzelraum von Unkräutern)

Voraussetzung für die Durchführung der Bewertung des PSM- Einsatzes ist eine eingeholte Wetterprognose des DWD (entsprechend **Kap. 8.5.7.2**) und eine gültige Bodenfeuchteberechnung (**Kap. 15.1.2**).

Zeitbezug der Bewertung der Umweltparameter: grundsätzlich unterliegen Stundenwerte über einen Prognosezeitraum von mehreren Tagen (s. **Kap. 15.1.2**) der Beurteilung. Es werden allerdings auch Tageswerte (z.B. Tagestemperatur, Strahlungssumme) in die Bewertung mit einbezogen (s.o. bzgl. der einzelnen Parameter). Hinsichtlich der Bodenfeuchte beziehen sich die Bewertungen auf Tagesperioden von mehreren Stunden.

Folgende Differenzierung hinsichtlich der Art der Bewertung eines Umweltparameter wird vorgenommen:

- bewertet werden die Bedingungen zum Zeitpunkt der Ausbringung PSM hinsichtlich der Möglichkeit der Aufnahme durch die Pflanzen der relevanten Fruchtart
oder/und
- bewertet werden Bedingungen nach der Ausbringung hinsichtlich der Wirkmöglichkeit PSM

Diese Unterscheidung ist relevant, da je nach Spezifik des PSM bzgl. eines Umweltparameters entweder die Situation bei Ausbringung oder im Wirkzeitraum oder beides relevant sein kann (z.B. ist bei Blattherbiziden Niederschlag bei oder eine bestimmte Zeit nach Ausbringung problematisch, bei Bodenherbiziden ist begrenzter Regen nach Ausbringung eher von Vorteil).

Es erfolgt eine Bewertung des PSM- Einsatzes hinsichtlich jedes Umweltparameters in den Stufen:

- indifferent (es besteht keine Relevanz des Parameters (bezogen auf Situation hinsichtlich PSM, Frucht, Zeitpunkt))
- optimal/ sehr gute Bedingungen
- gut / wahrscheinlich möglich
- noch möglich / evtl. eingeschränkt
- problematisch / stark eingeschränkt
- ungünstig / jenseits der Einsatzgrenzen
- keine Aussage

Wird eine Bewertung des PSM-Einsatzes zu einer bestimmten Frucht außerhalb des vom PSM-Hersteller angegebenen Einsatzzeitraumes (Stadium der Früchte/ Vor- bzw. Nachauflauf) durch den ZEPHYR2-Nutzer angefordert, so wird diese Bewertung zwar vorgenommen, es erfolgt aber ein entsprechender Warnhinweis.

15.1.2 Datengrundlage Bewertung

15.1.2.1 Datengrundlage Bewertung PSM

In die Bewertung des PSM-Einsatzes mit ZEPHYR2 werden momentan (Zeitpunkt Herausgabe Handbuch) ausschließlich Herbizide aufgenommen. Einer Erweiterung auf Insektizide und Fungizide stehen, wie Tests zeigen, keine grundsätzlichen Schwierigkeiten im Wege; diese ist in absehbarer Zeit vorgesehen.

Die Einschätzungen, Bewertungen und PSM- spezifischen Hinweise basieren alle auf der Expertise anderer Autoren in Form von Literatur und mündlichen Informationen (Landwirte, Berater); neben BOUMA (2009), aus dessen Veröffentlichung sich auch der grundlegende Ansatz der Bewertung ableitet, sind dies vor allem BÖRNER (1995), BASF usw., GEHRING et al. (2021), HAUBLER (2013), HEITEFUSS (2000), KASTENHUBER (2011), PERKOW u. PLOSS (1993 – 2007), ZWERNER u. AMMON (2002).

Die mit jetzigem Stand aufgenommenen Herbizide sind in **Anlage 6** aufgelistet.

15.1.2.2 Datengrundlage Wetterdaten

Die Bewertung des PSM-Einsatzes bezieht sich stets auf prognostische Wetterdaten, die mit ZEPHYR2 vom DWD entsprechend **Kapitel 8.5.7.2** eingeholt wurden. Diese Wetterprognose beginnt immer mit dem jeweils „heutigen“ Tag und endet neun Tage später.

15.1.2.3 Datengrundlage Bodenfeuchte

Grundlage der Bewertung der Bodenfeuchte sind die Ergebnisse der Bodenfeuchtesimulation mit ZEPHYR2. Diese Bodenfeuchtesimulation muß aktuell durchgeführt worden sein und dem aktuellen Stand der Daten entsprechen. Das bedeutet auch, daß für den Wetter-Prognosezeitraum die aktu-

elle Wetterprognose des DWD lt. vorstehendem Kapitel in die Berechnungen eingeflossen sein muß.

15.2 Durchführung und Interpretation der Bewertung des Einsatzes von Pflanzenschutzmitteln in Bezug zu Bodenfeuchte und Witterung

15.2.1 Einholung Wetterprognose und Berechnung Bodenfeuchtedynamik

Das Vorgehen ist hierbei wie folgt (s. nachstehenden Hinweis)

- Einholung der Wetterprognose des DWD lt. **Kapitel 8.5.7.2 (Punkt 1)** und entsprechend **Kapitel 15.1.2.2**
- Aktualisierung der Wetterdaten-Tabelle für ZEPHYR2-Berechnungen, insbesondere Integration der eingeholten DWD-Wetterprognose lt. **Kapitel 8.5.7.2 (Punkt 2)**
- Durchführung der Berechnung der Bodenfeuchtedynamik für den relevanten Schlag (**Kapitel 11**)

Hinweis:

Die Beachtung des vorstehenden Ablaufs ist Voraussetzung für die anschließend (s. Folgepunkt) abgefragte PSM-bezogene Bewertung. Der Ablauf muß komplett erfolgen; z.B. wird eine Bodenfeuchteberechnung aus einer vorigen Sitzung nicht akzeptiert, sondern diese muß nach Beginn der ZEPHYR2-Sitzung für den betreffenden Schlag erfolgt sein.

15.2.2 Abruf der Bewertung des PSM-Einsatzes und Interpretation

Nach Schaffung der notwendigen Voraussetzungen entsprechend dem vorstehenden Punkt wird wie folgt verfahren:

- Auswahl des zu bewertenden Schlages
 - PFLANZENSCHUTZ UND STOFFVERLAGERUNG
 - PSM – WETTER - BODEN
- } o. Button BODEN, WETTER U. WIRKSAMKEIT PSM

die graphische Darstellung des Verlaufes von Wetterelementen wird ausgegeben; es ist auszuwählen:

- Fruchtart, PSM- Spezifizierung (in drei Abstufungen, s. **Abbildung 15-1**)
- Button OK

Anschließend erfolgt die Bewertung der einzelnen Wetterelemente und der Bodenfeuchte bzgl. des PSM- Einsatzes entsprechend dem in **Kapitel 15.1.1** beschriebenen Bewertungsansatz.

Die Darstellung der Bewertung des Umweltparameters ‚Niederschlag‘ und dessen Interpretation wird in **Abbildung 15-1** an einem Beispiel erklärt. Zum weiteren Verständnis existiert zu jedem PSM ein Informationsblatt, abrufbar über den entsprechenden Button.

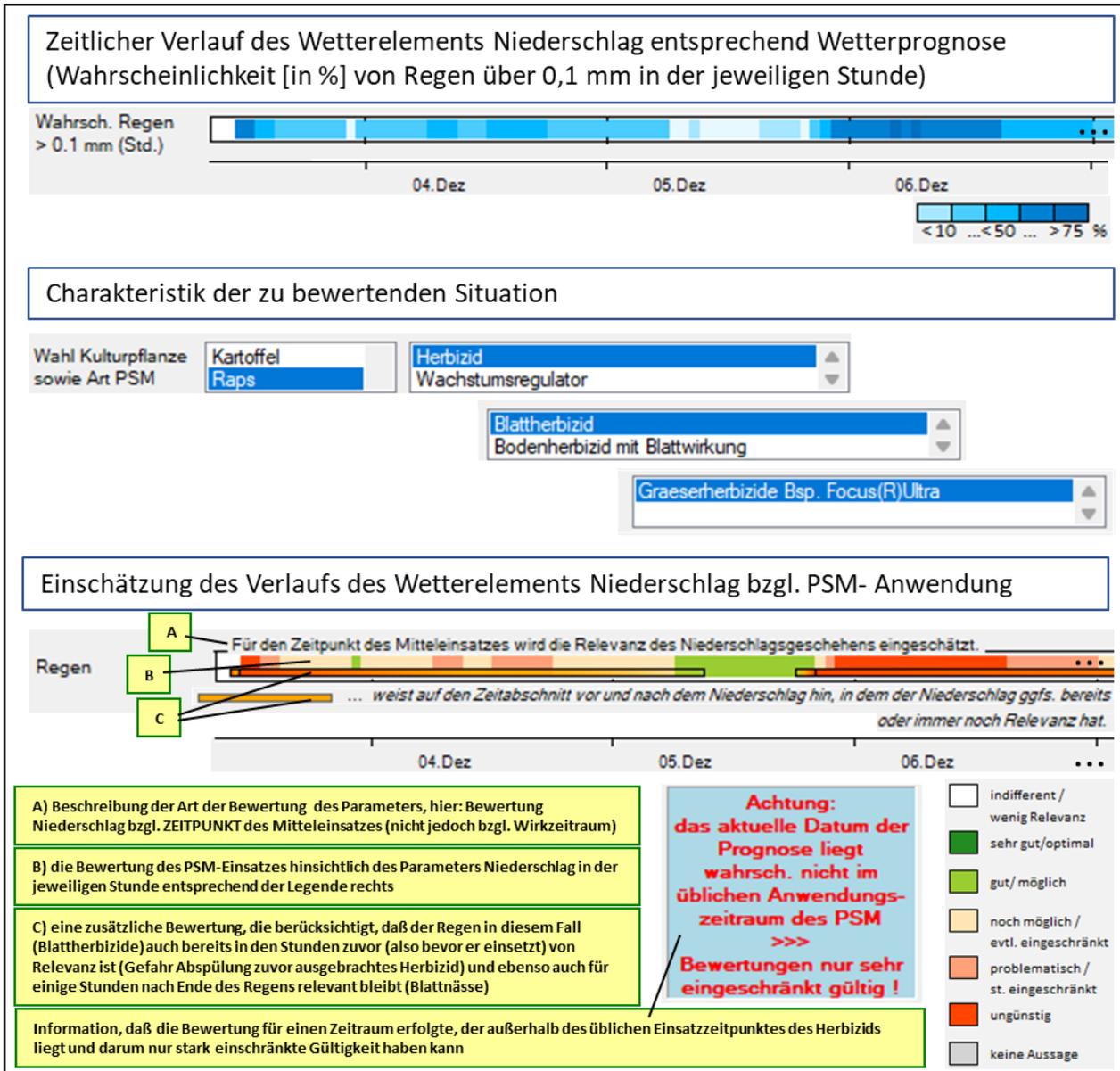


Abbildung 15-1. Bewertung eines Umweltparameters (Beispiel ‚Niederschlag‘) hinsichtlich einer PSM-Anwendung und Hinweise zur Interpretation

16 Befahrbarkeit und Verdichtungsgefährdung des Bodens

Die Befahrbarkeit eines Bodens in Zusammenhang mit Wetter und Bodenfeuchte ist immer von Relevanz, wenn auf einem Schlag Technik zum Einsatz kommt. Der äußere Eindruck (Zustand Bodenoberfläche, sichtbare Radspuren, aktuelles Wetter) ist für die Beurteilung der Situation relevant, kann jedoch den tatsächlichen Verhältnissen mitunter nicht hinreichend gerecht werden. Viele Faktoren wirken im Komplex – der Lasteintrag, die Konfiguration der Technik, der mechanische Zustand des Bodens (Vorbelastung) und nicht zuletzt die Bodenfeuchte in den oberen Schichten.

ZEPHYR2 führt eine Reihe wissenschaftlicher Ansätze zur Beurteilung der Befahrbarkeit und Verdichtungsgefährdung des Bodens zusammen, auf welche im Folgenden näher eingegangen wird. Die Ergebnisse der Berechnung können den Landwirt in der Beurteilung der Befahrbarkeit des Bodens und bei der Beantwortung der Frage unterstützen, ob in der gegenwärtigen Situation der Druck auf den Boden beim Einsatz der Technik verträglich oder aber höher ist, als ihn der Boden momentan ohne Schädigung aufnehmen kann. Daraus können evtl. Konsequenzen gezogen werden (z.B. Anpassung Belastung). Auch im Nachhinein kann mit der Anwendung dieses Teilmodells von ZEPHYR2 für zurückliegende Zeiträume eingeschätzt werden, ob zu bestimmten Zeitpunkten erfolgte Befahrungen den Boden geschädigt haben könnten. Daraus ließen sich ggfs., evtl. nach einer zusätzlichen Sondierung vor Ort, Konsequenzen hinsichtlich Bodenbearbeitung und Lockerungsmaßnahmen ableiten.

In ZEPHYR2 kann die Beurteilung von Befahrbarkeit und Verdichtungsgefährdung des Bodens nach **zwei unterschiedlichen Konzepten** alternativ oder in gegenseitiger Ergänzung erfolgen:

1. Befahrbarkeit des Bodens in Bezug zu Technik und Bodenfeuchte

Die Methode fußt auf DIN 19639 (2019) und weiteren Quellen (s. **Kapitel 16.1**); wesentliche Parameter der Beurteilung sind

- die Bodenfeuchte
- der Bodendruck und die Radlast der eingesetzten Technik

Das Konzept zielt sowohl auf eine Beurteilung der Befahrbarkeit des Bodens als auch auf die Vermeidung der Verdichtung des Bodens bei Befahrung ab. Hinsichtlich des zweiten Teils, also der Beurteilung der Frage, ob der Boden bei Befahrung verdichtungsgefährdet ist, ist die Aussagefähigkeit eingeschränkter als bei der unter (2.) genannten Methode. Das liegt daran, daß der mechanische Zustand des Bodens vor der Befahrung (Vorbelastung) in diesem Konzept keine Berücksichtigung findet.

2. Verdichtung des Bodens in Bezug zu seiner Vorbelastung sowie zu Bodenfeuchte und Technik

Die Methode greift vor allem auf DVWK-234(1995) und RÜCKNAGEL (2021), aber auch auf weitere Autoren (s. **Kapitel 16.2**) zurück; wesentliche Parameter der Beurteilung sind

- die mechanische Vorbelastung des Bodens
- die Bodenfeuchte
- der Bodendruck und die Radlast der eingesetzten Technik

Der Vorteil dieses Konzeptes liegt darin, daß der mechanische Zustand des Bodens (Vorbelastung) in die Beurteilung mit einbezogen wird, um davon ausgehend die Gefährdung einer weiteren Verdichtung des Bodens beurteilen zu können.

Beide Konzepte gelten als bewährte Methoden und wurden in ZEPHYR2 als alternative bzw. sich ergänzende Methoden aufgenommen. Je nach Datenhintergrund und realen Erfahrungen des Nutzers mit den Methoden kann es unterschiedlich sein, welches Konzept vorzugsweise eingesetzt wird.

16.1 Befahrbarkeit des Bodens in Bezug zu Technik und Bodenfeuchte

16.1.1 Kurzbeschreibung Bewertungsansatz Befahrbarkeit

Die Befahrbarkeit des Bodens aus technologischer Sicht bei gleichzeitiger Vermeidung einer zu hohen Bodenbelastung wird wesentlich von der Bodenfeuchte mitbestimmt. In Abhängigkeit von gegebenen technischen Parametern (Radlast, Bodendruck) einer Maschine ändert sich die Grenzbodenfeuchte, bis zu welcher der Boden für diese Maschine als befahrbar angesehen wird und jenseits der eine Befahrung nicht möglich bzw. schädlich ist.

Andersherum betrachtet bestimmt eine gegebene Bodenfeuchte die noch verträglichen Eigenschaften (Radlast, Bodendruck) der einsetzbaren Technik. Bei zu starker Bodenbelastung muß die Technik evtl. an die gegebenen Bodenverhältnisse angepaßt werden.

Die Einschätzung der Befahrbarkeit in Abhängigkeit von technischen Parametern und von der Bodenfeuchte basiert auf einer Reihe von Forschungsergebnissen (u.a. KRETSCHMER, 1989, 1994, 1995, MICHEL, 1990 a,b). Als standardisierte Methode sind vorliegende Forschungsergebnisse in DIN 19639 (2019) umgesetzt. Nicht hinreichend geht die Vorbelastung (der mechanische Zustand) des Bodens in die Bewertung der Befahrbarkeit ein. Es ist darum oft sinnvoll und wird empfohlen, zusätzlich auch eine Bewertung der Verdichtungsgefährdung (**Kapitel 16.2**) durchzuführen, welche die genannten Bodeneigenschaften berücksichtigt.

Die Methode ‚Befahrbarkeit des Bodens in Bezug zu Technik und Bodenfeuchte‘ geht davon aus, daß die aktuelle Befahrbarkeit des Bodens eng mit der aktuellen **Konsistenz** des Bodens zusammenhängt, die wiederum deutlich mit der Bodenfeuchte korreliert. Hinsichtlich dieses Zusammenhangs und der Begriffe (insbesondere ‚Konsistenz‘) wird auf o.g. Literatur, besonders DIN 19639, verwiesen. Als relevanter Parameter der Bodenfeuchte gilt dabei die sogenannte Saugspannung oder Wasserspannung (s. Hinweis).

Hinweis:

Zum Begriff der ‚Saugspannung‘ und der Beziehung ‚Saugspannung zu Wassergehalt‘ s. **Anlage 4.**

Es wird nach DIN 19639 davon ausgegangen, daß bei relativ **trockenem Boden (→ hohe Saugspannung)** die Konsistenz des Bodens eine Befahrung immer erlaubt. Bei **feuchtem Boden (→ geringe Saugspannung)** dagegen ist die Befahrung nicht möglich bzw. zu unterlassen. In beiden Fällen brauchen technische Parameter der Landmaschine (des Fahrzeuges) nicht für die Beurteilung hinzugezogen werden. Im mittleren Feuchtebereich wird die relevante Bodenfeuchte als Kriterium befahrbar/nicht befahrbar (Grenzbodenfeuchte → als Grenzwert der Saugspannung) abhängig von Radlast und Raddruck des Fahrzeuges gemacht. Unter diesen Voraussetzungen läßt sich im Bodenfeuchteverlauf eines Standortes bestimmen, wann/ob der Boden mit der geplanten Technik befahrbar oder nicht befahrbar war bzw. ist.

16.1.2 Datengrundlage Bewertung

16.1.2.1 Datengrundlage Bodenfeuchte (Saugspannung)

Grundlage der Bewertung der Bodenfeuchte (Saugspannung) sind die Ergebnisse der Bodenfeuchtesimulation mit ZEPHYR2. Die Saugspannungswerte im zeitlichen Verlauf stehen nach Durchführung der Bodenfeuchtesimulation direkt automatisch als Ergebnisse für die Auswertung zur Verfügung.

16.1.2.2 Technische Parameter der Fahrzeuge

Für die betrachtete Landtechnik sind Radlast und Bodendruck die relevanten Beurteilungsparameter. Die Radlast ist i.d.R. aus dem Gesamtgewicht des Fahrzeuges (ggfs. mit Beladung) und der Verteilung des Gewichtes auf die Räder, über welche i.d.R. der Hersteller der Landmaschine Angaben macht, abzuleiten.

Der Bodendruck wird wie folgt ermittelt:

a) Radfahrwerke:

die Berechnung des Bodendrucks durch ZEPHYR2 erfolgt nach der Methode PETELKAU et al. (1998) unter Kenntnis folgender Parameter

- *Reifenbreite*
- *Reifenhöhe (in % der Breite)*
- *Reifendurchmesser*
- *Halbdurchmesser „statisch“*
- *Radlast*

Diese Parameter können dem Reifenkatalog des Herstellers entnommen werden. Zu beachten ist außerdem, daß die Berechnungsmethode ‚Bodendruck‘ davon ausgeht und nur dann korrekte Ergebnisse erbringt, wenn die vom Reifenhersteller angegebenen Randbedingungen bzgl. Reifeninnendruck, maximale Fahrgeschwindigkeit und Tragfähigkeit der Reifen eingehalten werden.

Der Eingabe der Parameter dient in ZEPHYR2 das Formular **Auswahl und Bearbeitung Parameter der Technik**. Dieses Formular enthält im Auslieferungszustand von ZEPHYR2 die Parameter von zehn Fahrzeugen/ landwirtschaftlichen Maschinen. Da die Kennwerte dieser Fahrzeuge i.d.R. auf die Fahrzeuge des ZEPHYR2-Nutzers nicht zutreffen dürften, können die in der Liste enthaltenen Fahrzeuge und ihre Kennwerte als „Platzhalter“ angesehen werden, die sukzessive durch entsprechende relevante Angaben ersetzt werden. Wurden

die Angaben zu einem Fahrzeug durch den Nutzer eingegeben, können Sie gespeichert, jederzeit wieder abgerufen und bei Bedarf verändert werden.

Unter Hinzuziehung der Angaben im Reifenkatalog sind die Parameter wie folgt in das o.g. Formular einzugeben:

- TECHNIK AUF DEM BODEN } o. Button LANDTECHNIK
- TECHNIK }
- → Formular ‚Auswahl und Bearbeitung Parameter der Technik‘ wird geöffnet
 - wurden zu einem früheren Zeitpunkt bereits Eingaben für ein Fahrzeug durchgeführt und ist dieses im Listenfeld des Formulars enthalten, so wird dieses Fahrzeug ausgewählt bzw.
 - Auswahl eines möglichst „verzichtbaren“ Fahrzeuges (d.h. Fahrzeug, das vorläufig ohne Relevanz, dessen Angaben also überschrieben werden können)
- es erfolgt die Eingabe allgemeiner Angaben (Benennung Fahrzeug usw., s. Hinweis)
- die Eingabe der o.g. Parameter ist vorzunehmen
- Button PRÜFUNG PARAMETER → die eingegeben Parameter werden sachlich geprüft, die daraus ableitbaren Parameter, insbesondere der Bodendruck, werden berechnet
- es besteht die Möglichkeit der Sicherung der Eingaben für das Fahrzeug zu späterer, erneuter Verwendung (Button SICHERUNG), s. auch nachstehenden Hinweis
- Button WEITER MIT EINGESTELLTEN PARAMETERN → die Werte stehen zur Verfügung

Hinweis:

Es ist sinnvoll, sofern vorhanden, dem Fahrzeug ein Bild (z.B. Foto) zuzuordnen; die Vorgehensweise ist bei Abarbeitung der entsprechenden Schritte im Formular erklärt

b) Kettenfahrwerke:

es wird zunächst pro forma wie unter (a) beschrieben ein beliebiges Fahrzeug (Radfahrzeug) ausgewählt;

die eigentliche Eingabe der erforderlichen Parameter erfolgt erst bei Aufruf der Darstellung Befahrbarkeit (**Kapitel 16.1.3**); in dem entsprechenden Formular (‚Befahrbarkeit des Bodens in Bezug zu Technik und Bodenfeuchte‘) ist unter TECHNIK die Option EINGABEWERTE NUTZEN zu wählen und es sind in die entsprechenden Felder ‚Fläche‘ und ‚Radlast‘ Eingaben vorzunehmen; anschließend ist der bei korrekter Eingabe grün werdende Button zu betätigen

Hinweis:

Der Wert der ‚Fläche‘ [in m²] ergibt sich aus der Kettenbreite und hinsichtlich Kettenlänge aus dem Abstand der Achsen des vorderen und hinteren Kettenrades.

16.1.3 Abruf der Bewertung der Befahrbarkeit und Interpretation der Ergebnisse

Nach Schaffung der notwendigen Voraussetzungen entsprechend dem vorstehenden Punkt wird wie folgt verfahren:

- Auswahl des zu bewertenden Schlages
 - TECHNIK AUF DEM BODEN
 - BEFAHRBARKEIT (DIN)
- } o. Button BEFAHRBARKEIT

Weiterarbeit im sich öffnenden Formular

- in der Rubrik ‚Technik‘ werden die Parameter der ausgewählten Technik (s. Kapitel zuvor, Buchstabe (a)) ausgewiesen und können mit der Option VORGABEWERTE NUTZEN für die Weiterarbeit genutzt werden; alternativ sind unter Option EINGABEWERTE NUTZEN veränderte Eingaben als Grundlage der Weiterarbeit möglich (s. Kapitel zuvor, Buchstabe (b)), z.B. für Kettenfahrwerke
- Button BERECHNUNG STARTEN → es erfolgen die erforderlichen Berechnungen und die Darstellung der Ergebnisse
- für einzelne Tage können die Ergebnisse zusätzlich tabellarisch ausgewiesen werden

In **Abbildung 16-1 (unten)** ist für drei Tiefenbereiche (0-1 dm, 0-2 dm, 0-3 dm) der Verlauf der Saugspannung (SP) dargestellt. Es wird eingeschätzt, daß

- der Boden ohne Verdichtungsgefährdung befahrbar ist, wenn er so trocken ist, daß Saugspannungen von größer 800 hPa erreicht werden (Bereich ‚optimal‘ lt. Darstellung); Belastungsparameter der Technik (Radlast und Druck) gehen in die Beurteilung nicht ein
- der Boden nicht befahrbar ist, wenn er so feucht ist, daß Saugspannungen von 70 hPa unterschritten sind (Bereich ‚für Befahrung immer zu naß‘ lt. Darstellung); auch hier müssen Belastungsparameter nicht in die Bewertung einbezogen werden
- für die beiden kritischen Bereiche mittlerer Feuchte (Saugspannung 70 bis 800 hPa, Bereiche ‚evtl. kritisch → Technik?‘ und ‚wahrsch. zu naß → Technik?‘) ist unter Berücksichtigung der eingesetzten Technik eine **Grenz- Saugspannung** zu bestimmen, oberhalb der die Befahrbarkeit des Bodens gegeben ist, bzw. unterhalb welcher der Boden nicht befahrbar ist; der Wert dieser Grenz- Saugspannung ergibt sich aus Parametern der Landtechnik (Radlast, Bodendruck) nach **Abbildung 16-1 (oben)**.

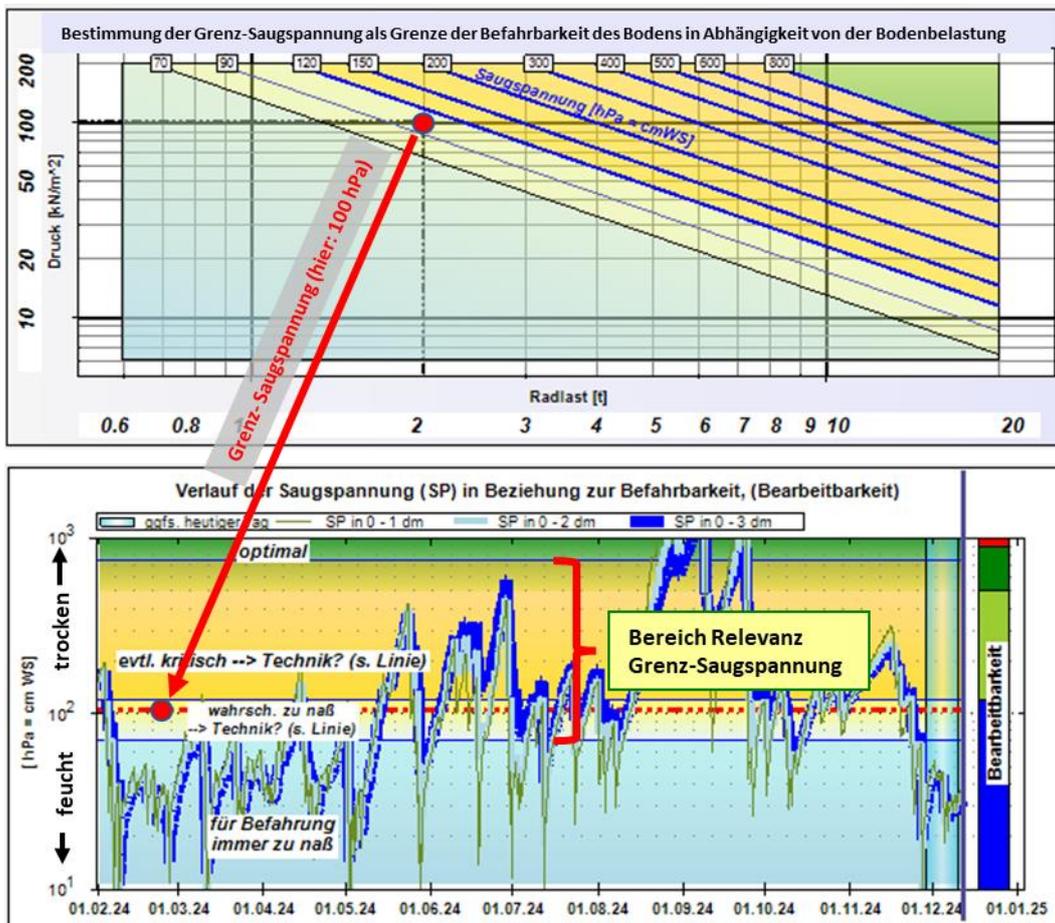


Abbildung 16-1. Relevante Bodenfeuchte (Grenz-Saugspannung) als Grenze der Befahrbarkeit des Bodens in Abhängigkeit von Radlast und Druck auf den Boden (oben) sowie zeitlicher Verlauf der Bodenfeuchte (Saugspannung) eines Bodens in drei Tiefenbereichen (0-1 dm, 0-2 dm, 0-3 dm) in Bezug zu Bereichen unterschiedlicher, feuchteabhängiger Befahrbarkeit (unten)

Beispiel Abbildung 16-1:

Entsprechend der eingesetzten Technik mit einer Radlast von 2 t und einem Bodendruck des Rades von 100kN/m² ist die Grenz-Saugspannung der Befahrbarkeit des Bodens 100 hPa (obere Graphik); entsprechend des Verlaufs der Bodenfeuchte (Saugspannung) sind sowohl Zeiträume zu erkennen (z.B. bis Anfang Mai), in denen der Boden eindeutig nicht befahrbar ist; im Zeitraum danach bis Anfang August wechselt die Befahrbarkeit des Bodens stark, wie der Saugspannungs-Verlauf in Bezug zur Grenz-Saugspannung zeigt und im August/September ist der Boden meist entsprechend seiner Bodenfeuchte gut befahrbar

Anmerkung: am rechten Rand der unteren Graphik in Abbildung 16-1 ist eine Säule dargestellt, welche auf Bodenfeuchte-Bereiche unterschiedlich guter Bearbeitbarkeit des Bodens hinweist

16.2 Verdichtungsgefährdung des Bodens in Bezug zu seiner Vorbelastung sowie zu Technik und Bodenfeuchte

16.2.1 Kurzbeschreibung Bewertungsansatz Verdichtungsgefährdung

Wie die in **Kapitel 16.1** beschriebene Bewertung der Befahrbarkeit des Bodens dient auch die Beurteilung der Verdichtungsgefährdung des Bodens in Bezug zu Bodenfeuchte und Technik dazu, einzuschätzen, ob der Boden unter den aktuellen Umständen gut und ohne Schaden zu nehmen befahren werden kann. Es stehen bei dieser Bewertung aber zwei Aspekte besonders im Vordergrund:

- Ziel ist vor allem die Einschätzung der Verdichtungsgefährdung des Bodens in Tiefenintervallen von 1 dm bis in 6 dm Tiefe (die Befahrbarkeit des Bodens aus technologischer Sicht steht nur nachgeordnet, d.h. eher mittelbar im Focus)
- bei der Beurteilung seiner Verdichtungsgefährdung wird auch die Vorbelastung des Bodens berücksichtigt, was seinen gegenwärtigen mechanischen Zustand bzw. seine Fähigkeit, Belastungen ohne weitere Verdichtung aufzunehmen, meint.

Dem Konzept der **Vorbelastung** kommt im Rahmen der Einschätzung der Verdichtungsgefährdung des Bodens eine hohe Bedeutung zu. Böden, die eine gute, optimale Bodenstruktur in den oberen Bodenhorizonten aufweisen, haben i.d.R. wesentlich günstigere ökologische Eigenschaften als bereits verdichtete Böden. Sie sind somit mechanisch „nicht vorbelastet“. Diese geringe Vorbelastung ist also ökologisch positiv, bedingt aber eine höhere Verdichtungsempfindlichkeit des Bodens, d.h. eine geringere Belastbarkeit, wenn der Boden in seinem aktuellen (günstigen) physikalischen Zustand erhalten werden soll. Das Konzept der Vorbelastung ist ausführlich in der Literatur beschrieben (Quellen s. weiter hinten im Text). Die Vorbelastung ist der Wert, bis zu dem der Boden eine Belastung (durch die Technik) aufnehmen kann, ohne eine zusätzliche bleibende Verformung (Verdichtung) zu erfahren.

In die Bestimmung der Vorbelastung des Bodens gehen unterschiedliche bestimmbare Parameter des Bodens ein (s. **Kap. 16.2.2.3**). Einer dieser Parameter ist auch die Bodenfeuchte, denn es versteht sich, daß die Belastbarkeit des Bodens auch von der Bodenfeuchte abhängt.

Neben der Vorbelastung des Bodens sind wiederum Eigenschaften der Landtechnik relevant.

Aufgrund von Vorbelastung des Bodens und Eigenschaften der Landtechnik wird die Druckfortpflanzung von der Bodenoberfläche bis in 6 dm Tiefe berechnet. Dies erfolgt nach einem in DVWK 234 (1995) beschriebenen Ansatz. Auch hinsichtlich der Druckfortpflanzung im Boden ist Bodenfeuchte ein relevanter Parameter.

16.2.2 Datengrundlagen Bewertung

16.2.2.1 Datengrundlage Bodenfeuchte

Sowohl für die Berechnung des Vorbelastungs-Wertes des Bodens als auch der Druckfortpflanzung im Boden ist die Bodenfeuchte ein relevanter Parameter. Dabei wird der Bodenfeuchte-Kennwert „Bodenfeuchte in Prozent der Feldkapazität“ [%FK] verwendet. Grundlage sind die Ergebnisse der Bodenfeuchtesimulation mit ZEPHYR2. Die %FK-Werte im zeitlichen Verlauf stehen nach Durchführung der Bodenfeuchtesimulation direkt als Ergebnisse für die Auswertung zur Verfügung und werden von ZEPHYR2 genutzt.

Anmerkung

Der Wert 100 %FK entspricht der Bodenfeuchte bei Saugspannung = -6 kPa. Hier entspricht die Definition im ‚Konzept der Vorbelastung‘ derjenigen nach AG BODEN (2005), unterscheidet sich aber von dem in ZEPHYR2 ansonsten bevorzugten Verständnis (z.B. demjenigen zur Beurteilung der Pflanzenwasserversorgung); hierauf sei an dieser Stelle nur hingewiesen, für den Nutzer ergeben sich daraus keine Konsequenzen – für eine eingehendere Erläuterung s. **Anlage 3**.

16.2.2.2 Technische Parameter der Fahrzeuge

In diesem Punkt kann vollständig auf **Kapitel 16.1.2.2** verwiesen werden. Die entsprechenden Einstellungen bzgl. der Technik werden sowohl bei der Einschätzung der Befahrbarkeit, als auch der Verdichtungsgefährdung genutzt.

16.2.2.3 Bestimmung der Vorbelastung des Bodens

Das Konzept der VORBELASTUNG beruht auf der (wissenschaftlich bestätigten) Annahme, daß der Boden mechanische Belastungen ohne weitere Verdichtung bis zum einem Grad aufnehmen kann, der durch unveränderliche Eigenschaften (besonders Bodenart), seine gegenwärtige Lagerung (einschließlich bisheriger Verdichtung) und die aktuelle Bodenfeuchte bestimmt ist. Diese Fähigkeit des Bodens ist die Vorbelastung; sie wird üblicherweise in kPa angegeben. Bei einer Überschreitung der Belastung des Bodens über diesen Wert der Vorbelastung hinaus erfolgt eine weitere Bodenverdichtung.

Zur Bestimmung bzw. Schätzung der Vorbelastung existieren unterschiedliche Methoden. In ZEPHYR2 wird die Methode nach RÜCKNAGEL (2007, 2015, 2021) genutzt. In diesem Konzept wird davon ausgegangen, daß der physikalische Zustand des Bodens innerhalb einer Schicht gut durch zwei Dichte-Parameter beschrieben werden kann (s. auch **Abbildung 16-2**):

- die Trockenroh-dichte BD in $[g/cm^3]$ eines für die Schicht repräsentativen Bodenvolumens beschreibt die Dichtlagerung der Schicht im Ganzen (d.h. ohne Betrachtung einzelner Bodenaggregate)
- die Aggregatdichte AD in $[g/cm^3]$ beschreibt die Dichtlagerung der Bodenaggregate innerhalb des für die Schicht repräsentativen Bodenvolumens (dies können je nach Bodenstruktur z.B. Krümel, Bröckel, Polyeder oder Subpolyeder, plattige Aggregate sein).

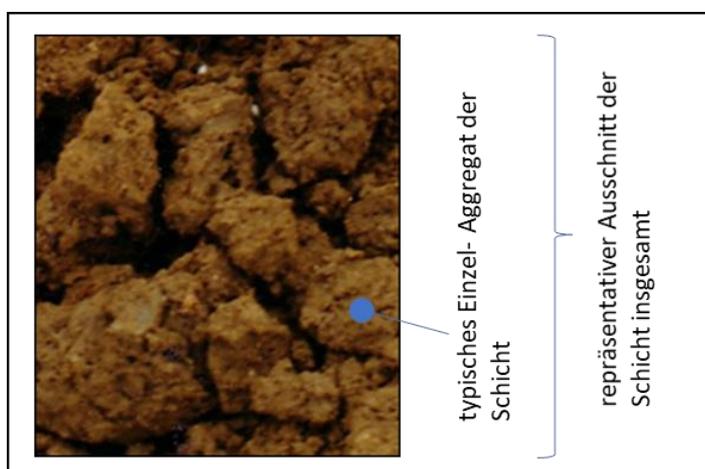


Abbildung 16-2. Lagerung des Bodens in einer Schicht insgesamt sowie einzelner Bodenaggregate (Foto: Michel)

Beide Kennwerte und zusätzlich ihr Verhältnis zueinander (Relativwert AD/BD) beschreiben die Vorbelastung des Bodens in hohem Maß. Bei einer Bodenfeuchte von 100 %FK (s. **Kap. 16.2.2.1**) und relativ geringem Grobbodengehalt des Bodens ergibt sich der Parameter

Vorbelastung des Bodens bei 100 %FK in der Maßeinheit kPa

als Referenzwert. Die unter den jeweils aktuellen Bedingungen reale Vorbelastung variiert dann entsprechend der aktuellen Bodenfeuchte (s. **Kap. 16.2.2.1**) und kann im Bodenfeuchtebereich 30-100%FK ebenfalls nach RÜCKNAGEL (2015) berechnet werden. Zusätzlich ist bei Grobbodengehalten des Bodens größer etwa 10-15 % ggfs. der Grobbodengehalt des Bodens zu berücksichtigen. Als Grobboden gelten Körner größer 2 mm. Es ergibt sich die

Vorbelastung des Bodens unter Berücksichtigung der Bodenfeuchte.

Zur Einschätzung der Vorbelastung des Bodens wird wie folgt verfahren:

- Auswahl des zu bewertenden Schlages
 - TECHNIK AUF DEM BODEN
 - VORBELASTUNG BODEN
- } o. Button VORBELASTUNG BODEN

Weiterarbeit im sich öffnenden Formular

- wurden zu einem früheren Zeitpunkt bereits Vorbelastungs-Werte für den Schlag (d.h. für den dem Schlag zugeordneten Boden) eingeschätzt und in der Datenbank gespeichert, so können diese wieder geladen werden (die entsprechende Option ‚Übernahme vorhandene Werte‘ ist dann freigeschaltet → Option JA wählen)
- vertikale Gliederung des Bodens in die Bereiche ‚Krumme‘ KR, ‚Krumenbasis‘ KB, ‚Unterboden‘ UB vornehmen (s.u. entsprechende Erläuterung)
- hinsichtlich Art der Bewirtschaftung (konventionell / konservierend) die entsprechende Option wählen (die Wahl dieser Option hat u.U. – s. weiter unten – Auswirkungen auf die Bestimmung der Vorbelastung)
- Vorgabe der Parameter zur Berechnung der ‚Vorbelastung des Bodens bei 100%FK‘ (alternativ vier Varianten) für die o.g. Tiefenbereiche des Bodens (Kr, KB, UB), (s.u. entsprechende Erläuterung)
- ggfs. Eingabe der Grobbodengehalte des Bodens (bei Gehalten > 10 %); Anmerkung: bei Gehalten > 40 % ist die Methode zur Berechnung der Vorbelastung nicht valide
- es besteht die Möglichkeit, zusätzlich zur ‚Vorbelastung des Bodens bei 100%FK‘ auch die ‚Vorbelastung des Bodens bei X %FK‘ (mit X als Wert zwischen 30 und 100, Vorgabe ist X=80) zu berechnen
- Button PRÜFUNG PARAMETER → die eingegeben Parameter werden sachlich geprüft, die daraus abzuleitenden Parameter, insbesondere die Vorbelastung, werden berechnet → die Ergebnisse werden in einer Tabelle der berechneten Parameter (Liste Parameter s. **Tabelle 16-1**) angezeigt
- es besteht die Möglichkeit der Sicherung der Eingaben für den Boden des Schlages zu späterer, erneuter Verwendung (Button SICHERUNG)
- Button WEITER MIT EINGESTELLTEN PARAMETERN → die Werte stehen zur Verfügung

Erläuterung ‚vertikale Gliederung des Bodens bzgl. seiner Vorbelastung‘:

die im Formular in einer Tabelle dargestellten ‚allgemeinen Angaben zur Bodenschichtung‘ mit tiefenbezogenen Angaben zu Horizonten und Bodenarten kennzeichnen die Bodenverhältnisse des Schlages und haben auch für die Bestimmung der Vorbelastung in ZEPHYR2 Relevanz. Daneben ist jedoch eine vertikale Gliederung des Bodens zu stellen, welche diesen zusätzlich hinsichtlich seiner bodenmechanischen Eigenschaften charakterisiert. Hierbei wird in ZEPHYR2 grundsätzlich von einer Dreiteilung des Bodens im relevanten Tiefenbereich (0 bis 60 cm) ausgegangen:

- ‚Krumme‘ KR: dies ist i.d.R. (auf landwirtschaftlich genutzten Böden) der regelmäßig bearbeitete Teil des Oberbodens; möglich ist auch, daß dieser Bereich nicht bearbeitet ist → die Untergrenze ist dort, wo ein Wechsel in der Lagerung/der Struktur des Bodens erfolgt; die maximale Stärke ist (in ZEPHYR2) 4 dm
- ‚Krumenbasis‘ KB: kann unterhalb von Kr der Bereich einer Pflugsohle, Krumenbasis oder in seiner Struktur anderweitig veränderter Teil des Oberbodens sein; in jedem Fall unterscheidet sich dieser Teil von Kr und UB in der Bodenstruktur; es ist möglich, daß dieser Teil des Bodens fehlt → ggfs. im Zahlenfeld Stärke = 0 einstellen
- ‚Unterboden‘ UB: ist der auf Kr und ggfs. KB folgende tiefere Teilbereich des Bodens bis 6 dm Tiefe und ergibt sich in seiner Stärke entsprechend rechnerisch; i.d.R. ist die Lagerung/die Struktur des Bodens deutlich von den Bereichen darüber abgesetzt

Hinsichtlich der Einschätzung der Parameter, aus denen ZEPHYR2 nach der Methode RÜCKNAGEL (s.o. Literaturzitate) die Vorbelastung bestimmt, sind vier Alternativen vorgesehen. Grundsätzlich werden bei der Parametrisierung i.d.R. die aktuellen, d.h. realen Eigenschaften des Bodens zur Grundlage genommen - z.B. wenn vermieden werden soll, daß sich die reale Bodenstruktur infolge Technikeinsatz verschlechtert. Es kann aber auch sinnvoll sein, einen Zustand anzunehmen, der für den Boden erst angestrebt wird und auf den sich der Technikeinsatz bereits ausrichten soll, etwa mit dem Ziel der Verbesserung der Situation. Die **vier Alternativen** bei der Parameter- Eingabe sind:

1. Option "Vorgabe Typ Dichte"

Diese Option geht davon aus, daß der Nutzer einschätzt, ob der Boden im jeweiligen Tiefenbereich

- locker (d.h. lockerer als normal)
- normal
- verdichtet (d.h. dichter als normal)

gelagert ist. Es liegt auf der Hand, daß die Einschätzung dieses Sachverhaltes nicht immer eindeutig ist und somit schwierig sein kann. Die Anwendung der Alternativen Nr. 2 bis 4 ist jedoch i.d.R. recht aufwendig und erfordert mitunter Expertise und/oder experimentellen Aufwand. Dagegen greift die Einschätzung der o.g. Kategorien (locker, normal, verdichtet) bzgl. des Bodens auf einem Schlag häufig eine Kenntnis des Landwirtes ab, über die er ohnehin verfügt. Zur Präzisierung kann und sollte allerdings nach Möglichkeit eine relativ einfach auszuführende Diagnose auf dem Schlag erfolgen; dazu kann eine übliche ‚Spaten-Diagnose‘ (DIEZ, 1991 und div. bodenkundliche Lehrbücher) dienen oder eine Sondierung (übliche Handsonde zur Einschätzung Durchdringungswiderstand/Verdichtung). Es versteht sich, daß bei der Anwendung der Option "Vorgabe Typ Dichte" Unsicherheiten verbleiben. Beispielsweise wurde bei Test- Anwendungen festgestellt, daß gerade bei verdichteten

Böden der Grad der Verdichtung mitunter noch unterschätzt wird (s. hierzu nachstehenden Hinweis).

Methodisch wird bei der Option "Vorgabe Typ Dichte" hinsichtlich des Datenhintergrunds von ZEPHYR2 davon ausgegangen, daß es – bezogen auf eine bestimmte Bodenart und einen bestimmten Bodenhorizont und unter Berücksichtigung der Art der Bewirtschaftung (konventionell o. konservierend) – bestimmte Werte der Trockenrohdichte BD und der Aggregatdichte AD gibt, welche den Boden in den Zuständen ‚locker‘, ‚normal‘, ‚verdichtet‘ kennzeichnen. Die Werte für BD basieren auf VETTERLEIN (1986, 1989) und PETELKAU (1998), weiterhin auch auf Angaben von KUNDLER (1989), LIEBEROTH (1982), MÜLLER (1980). Die Parametrisierung hinsichtlich AD fußt vor allem auf Rücknagel (2007).

Hinweis:

Bei einer sehr starken Verdichtung einer Schicht (z.B. Krumbasis/Pflugsohle) wird diese Verdichtung evtl. bei Vorgabe des Typs "verdichtet (v)" noch unterschätzt; dann (also bei einer erkennbar sehr starken Verdichtung) ist es sinnvoll, die Option Nr. 3 ‚Packungsdichte‘ zu nutzen und hier die höchstmögliche Stufe (5) vorzugeben. In der anderen Richtung, also bei extrem lockeren Böden (z.B. Ackerkrume mit besonders hoher biologischer Aktivität und entsprechend sehr lockerer Lagerung) wird dies evtl. bei Vorgabe des Typs "locker (l)" noch nicht ausreichend abgebildet; dann sollte ebenfalls die Option ‚Packungsdichte‘ genutzt werden und als Packungsdichte die niedrigstmögliche Stufe (1) bzw. unterhalb Tiefe 30 cm Stufe (2) vorgegeben werden.

Vorbemerkung zu den nachfolgenden alternativen Optionen Nr. 2 bis 4: die Angabe der Bewirtschaftungsvarianten "konventionell" oder "konservierend" hat hier keine Auswirkung auf die Berechnung der Vorbelastung.

2. Option „Vorgabe Boden- und Aggregatdichte“

Die Nutzung dieser Option dürfte aus theoretischer Sicht die treffsichersten Ergebnisse bei der Bestimmung der Vorbelastung erbringen. Sie ist jedoch wahrscheinlich wissenschaftlichen Untersuchungen vorbehalten, denn während die Trockenrohdichte BD an ungestörten Bodenproben relativ einfach zu bestimmen ist, trifft dies für die Aggregatdichte AD (Bestimmung nach RÜCKNAGEL (2007)) nicht zu. Darum ist diese Option unter Praxisbedingungen wahrscheinlich eher unrealistisch.

3. Option „Vorgabe Packungsdichte“

Die Packungsdichte des Bodens kann nach DIN 19682-10 (2014) bei der Aufnahme eines Bodenprofils anhand visuell-taktil bestimmbarer Strukturmerkmale des Bodens bestimmt werden, wenn auch Unsicherheiten verbleiben. Insofern ist diese Methode praktisch relativ einfach anwendbar, wenn sie (jedenfalls nach den Erfahrungen des Autors) auch nicht immer eindeutig reproduzierbare Ergebnisse liefert.

4. Option „Vorgabe Wert Vorbelastung bei Feldkapazität“

Die Anwendung dieser Option setzt die Kenntnis des Zielwertes selbst, also der ‚Vorbelastung bei 100%FK‘, voraus. Das kann bedeuten, daß dieser Wert auf eine andere Weise ermittelt oder geschätzt wurde, als in ZEPHYR2 mit den o.g. Optionen Nr. 1 bis 3, so z.B. nach DVWK 234 (1995) usw. Eine andere Möglichkeit ist die experimentelle Bestimmung der Vorbelastung im Labor (Druck-Setzungs-Versuch (Ödometer) nach RÜCKNAGEL (2007)). Diese Möglichkeit dürfte im Wesentlichen wissenschaftlichen Untersuchungen vorbehalten sein.

Nach den notwendigen Eingaben und der Prüfung dieser (Button) werden die Ergebnisse der Berechnung der Vorbelastung im ZEPHYR2- Formular in einer Tabelle angezeigt (Liste der Parameter s. **Tabelle 16-1**). Diese Werte sind die Grundlage zur Berechnung der Verdichtungsgefährdung des Bodens unter Einbeziehung des Bodenfeuchteverlaufes.

Tabelle 16-1. Bedeutung der im ZEPHYR2- Formular ‚Mechanische Vorbelastung des Bodens einstellen‘ in der Tabelle ‚Kennwerte der Vorbelastung des Bodens ...‘ ausgewiesenen Parameter

Parameter	Erklärung
Intervall VL	Zugehörigkeit der Schicht zu den Bereichen (s. Gliederung Boden) <ul style="list-style-type: none"> - Kr (i.d.R. bearbeitete) Krume - KB veränderte (z.B. verdichtete) Pflugsohle/ Krumenbasis - UB Unterboden
Dichtestufe	qualitative Einschätzung Bodendichte (bei Wahl der Option "Vorgabe Typ" in der Wertezuweisung) in den Stufen "locker" / "mittel" / "verdichtet"
TRD	Trockenrohdichte Boden [g/ccm], je nach Option lt. Eingabe oder entsprechend "Vorgabe Typ"
Aggr.-D.	Aggregatdichte Boden [g/ccm], je nach Option lt. Eingabe oder entsprechend "Vorgabe Typ"
PD	qualitative Einschätzung der Packungsdichte (Stufe 1 bis 5) nach DIN 19682 - 10 (2007) bei Nutzung Option "Vorgabe Packungsdichte"
Grobb.	Grobbodengehalt (Kornfraktionen > 2 mm) in [%], relevant ab Anteilen größer 10 bis 15% , zu beachten: - bei Grobbodengehalten größer 40% kann die Berechnung der Vorbelastung nicht erfolgen - bei Option "Wert Vorbelastung" dient die Eingabe Grobbodengehalt nur als Information
Feldkap.	Feldkapazität, definiert als Wassergehalt [-] des Bodens bei einer Saugspannung von -6 kPa = pF 1,8 (Umrechnung als Wassergehalt in [Vol.-%] mit Faktor 100)
V.Belast bei FK	Vorbelastung des Boden [kPa] bei Feldkapazität
WV gewählt	ein optional (s.o.) wählbarer Wassergehalt in [% der Feldkapazität]
V.Belast bei WV	Vorbelastung des Boden [kPa] bei dem gewählten Wassergehalt "WV gewählt"

16.2.3 Abruf der Bewertung der Verdichtungsgefährdung des Bodens und Interpretation

Nach Schaffung der notwendigen Voraussetzungen entsprechend dem vorstehenden Punkt wird wie folgt verfahren:

- Auswahl des zu bewertenden Schlages
 - TECHNIK AUF DEM BODEN
 - GEFÄHRDUNG SPEZIFISCH
- } o. Button VERDICHTUNGSGEFÄHRDUNG

Weiterarbeit im sich öffnenden Formular

- in der Rubrik Technik werden die Parameter der ausgewählten Technik (**s. Kapitel 16.2.2.2 bzw. Kapitel 16.1.2.2, Pkt. 1**) ausgewiesen und können mit der Option VORGABEWERTE NUTZEN für die Weiterarbeit genutzt werden; alternativ sind unter Option EINGABEWERTE NUTZEN veränderte Eingaben als Grundlage der Weiterarbeit möglich (**s. Kapitel 16.1.2.2, Pkt. 2**)
- Button BERECHNUNG STARTEN → es erfolgen die erforderlichen Berechnungen und die Darstellung der Ergebnisse (s. nachstehenden Text)

ZEPHYR2 berechnet in Dezimeter- Intervallen bis in eine Tiefe von 6 dm den Verlauf der Spannungen im Boden und den Verlauf der Vorbelastung (**Abbildung 16-3**). Die den Verlauf dieser beiden Parameter bestimmende, also variierende Größe ist die (mit ZEPHYR2 berechnete) Bodenfeuchte.

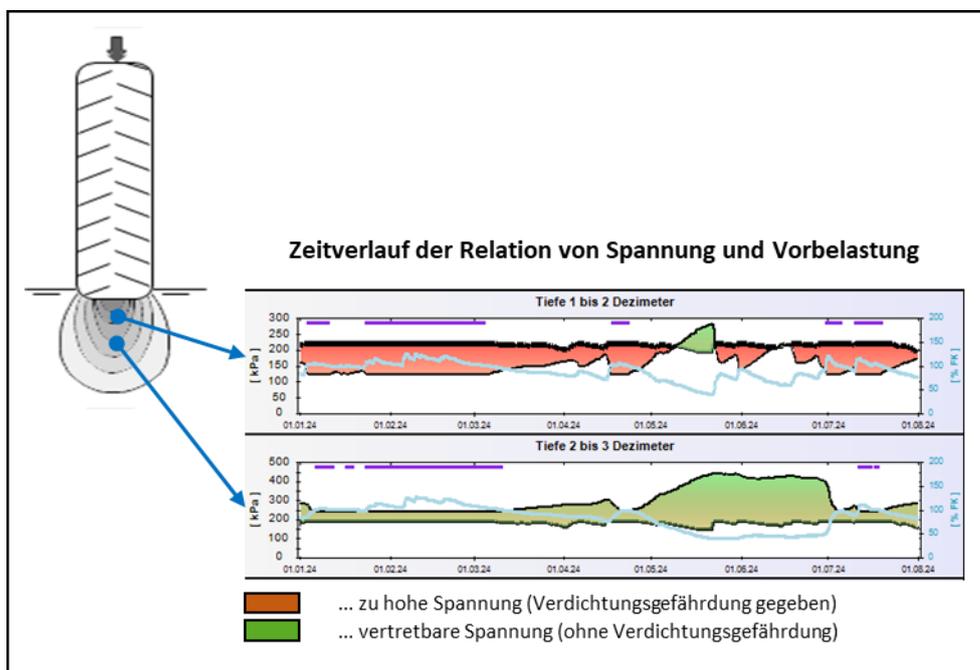


Abbildung 16-3. Zeitlicher Verlauf der infolge Bodenbelastung und Bodenfeuchtedynamik auftretenden Spannung im Boden und der Vorbelastung in zwei ausgewählten Tiefenbereichen sowie Ableitung der Verdichtungsgefährdung des Bodens (insgesamt Darstellung 6 Tiefen)

Die Relation von Spannung im Boden und Vorbelastung bestimmt zu einem bestimmten Zeitpunkt seine Verdichtungsgefährdung (**Abbildung 16-4**). Solange die Vorbelastung oberhalb der auftretenden Spannung liegt, ist keine weitere Bodenverdichtung bei der aufgetragenen Belastung des Bodens zu erwarten. Im anderen Fall – Spannung größer als Vorbelastung – ist von einer Bodenverdichtung auszugehen. Für beide Fälle gilt, daß das Berechnungsergebnis um so sicherer ist, je größer der berechnete Unterschied zwischen Spannung und Vorbelastung ist. Je enger beide Werte dagegen beieinander liegen, um so weniger eindeutig ist das Ergebnis. In diesem Fall sollte nach dem Prinzip der sicheren Seite gedacht werden; das bedeutet: auf eine Befahrung des Bodens verzichten oder die Belastung (Radlast, Raddruck) signifikant vermindern.

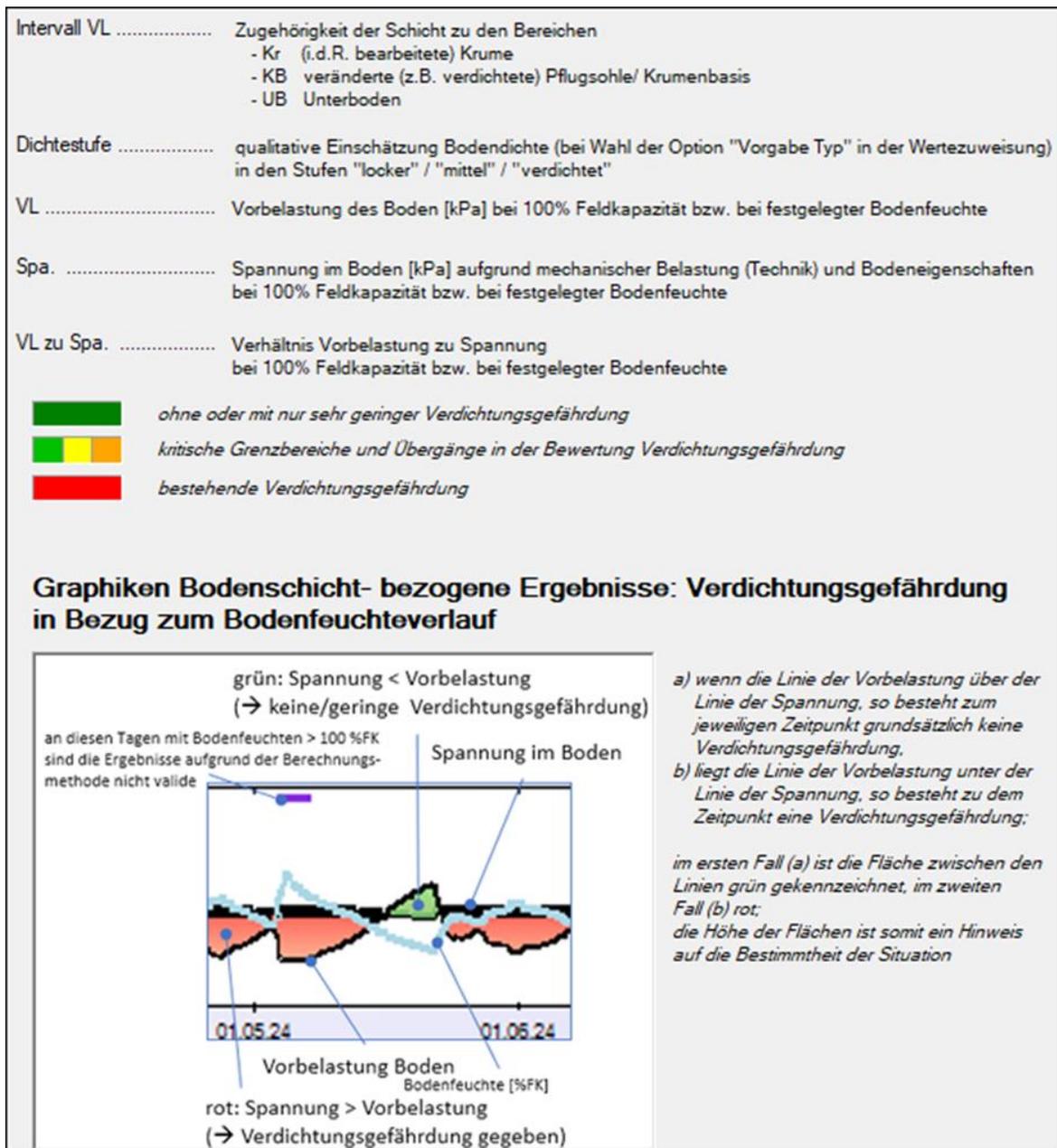


Abbildung 16-4. Erläuterung der im ZEPHYR2- Formular ‚Verdichtungsgefährdung ...‘ ausgewiesenen Parameter und Ergebnisse und Hinweise zur Interpretation

17 Niederschlags- Szenarien im Rahmen der Bodenfeuchtesimulation mit ZEPHYR2

17.1 Zielstellung der Szenarien- Berechnungen

Es geht bei der Einbeziehung von Niederschlags- Szenarien in die Bodenfeuchtesimulation vorrangig um die Möglichkeit, ausgehend von der Ist- Situation („heute“) einige Wochen oder Monate vorzuschauen, um mögliche Entwicklungen besser beurteilen zu können (Szenarien), s.

Abbildung 17-1. Hierbei werden lokale bzw. regionale Daten mit statistischem Hintergrund zum Niederschlag miteinander verknüpft und finden Eingang in Modellberechnungen. Auf diese Weise wird es dem Nutzer möglich, leicht und plausibel einzuschätzen, in welchem Rahmen sich die aktuell gegebene Situation in den nächsten Wochen bis Monaten mit bestimmter Wahrscheinlichkeit weiterentwickeln kann, ohne selbst tiefer in Wetterstatistiken einsteigen zu müssen.

Neben der Möglichkeit, den Niederschlag als variable, in seiner Höhe mit bestimmter Wahrscheinlichkeit auftretende Größe zu behandeln, besteht in den Szenarien- Berechnungen auch die Option, die Potentielle Verdunstung zu variieren (i.S. von ‚mittlere‘, ‚erhöhte‘ oder ‚verminderte‘ Verdunstung), allerdings in gegenüber dem Niederschlag vereinfachter Weise und in geringerem Ausmaß.

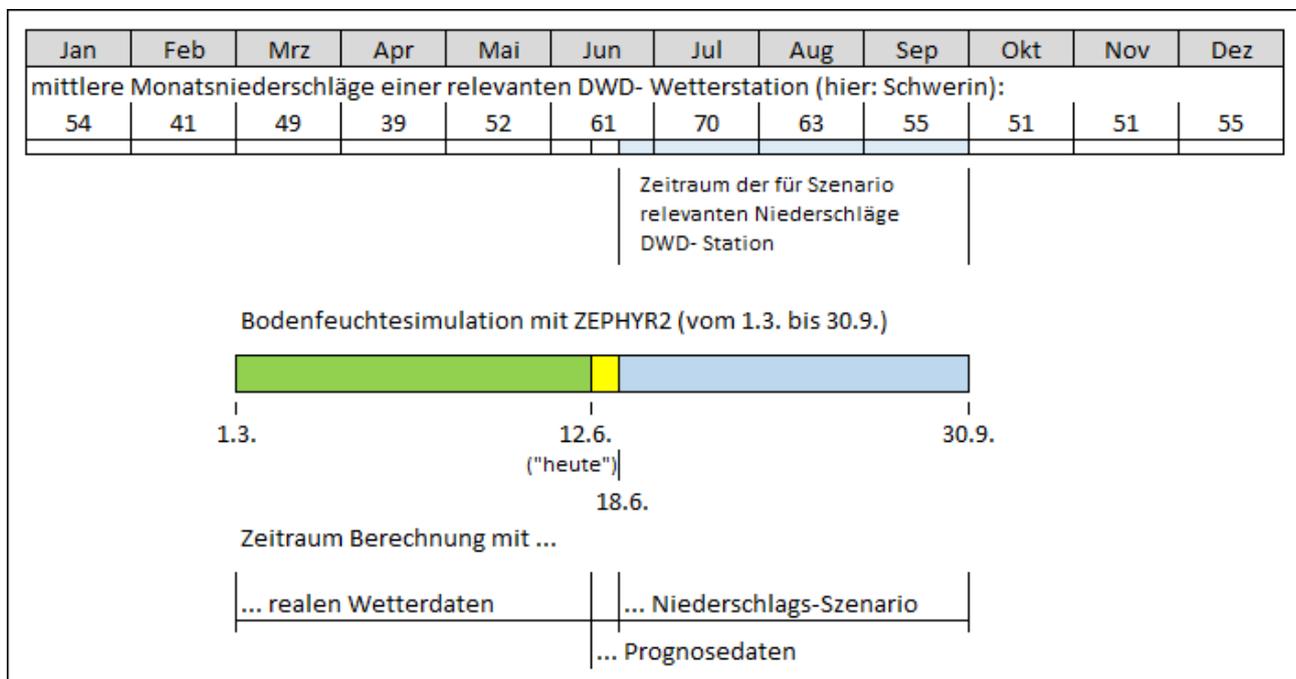


Abbildung 17-1. Prinzip der Bodenfeuchtesimulation aufgrund eines Niederschlags- Szenarios im Anschluß an reale und ggfs. prognostische Niederschlags-Werte (Beispiel)

17.2 Datenhintergrund Niederschlag und Potentielle Verdunstung für Szenario Berechnungen

17.2.1 Optionen bzgl. des Datenhintergrunds

17.2.1.1 Grundsätzliches Konzept

a) Niederschlag

Der Datenhintergrund bzgl. der Niederschläge ist grundsätzlich eine Monatstabelle der Niederschläge. Diese monatsbezogenen Niederschläge werden für die Berechnungen in ZEPHYR2 in bestimmter Weise auf Tage des Monats aufgeteilt. Für Monate, die nur teilweise in den Szenario-Zeitraum fallen (z.B. der Juni in **Abbildung 17-1**) wird der Monatsniederschlag entsprechend anteilig verwendet.

Hinsichtlich der Qualität der Monatsniederschläge sind zu unterscheiden:

1. Monatsniederschläge mit statistischem Hintergrund:

- die Monatsniederschläge sind als mittlere Monatsniederschläge (i.S. von Normalwerten, langjähriges Mittel) anzusehen
- Grundlage können Daten des DWD (DWD-CLIMATE CENTER) sein, unter bestimmten Voraussetzungen eigene Werte oder auch andere Quellen)
- zusätzlich bestehen Kenntnisse über die regional typische Variabilität der Niederschläge für unterschiedlich lange Zeiträume (basierend auf HAD (HYDROL. ATLAS DEUTSCHLAND), **Abbildung 17-2**)

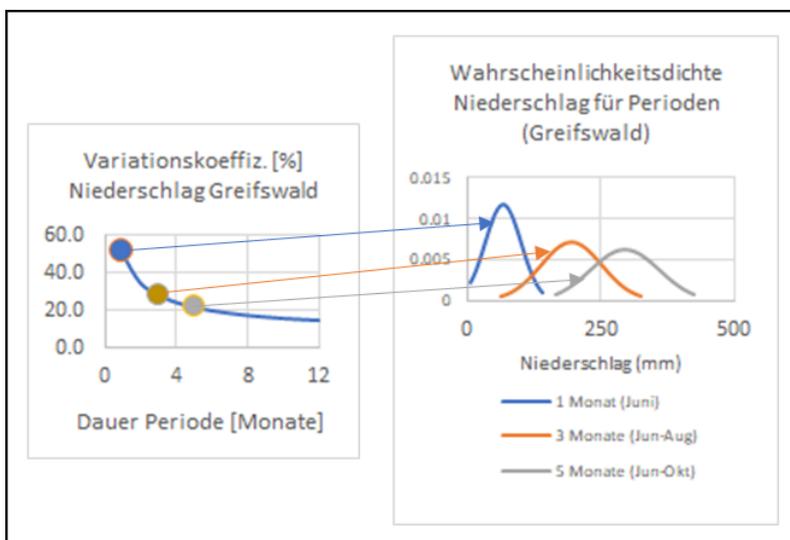


Abbildung 17-2. Regional bezogene Angaben zur Variabilität von Niederschlägen, hier: Region Greifswald (Quelle: HAD-Hydrologischer Atlas Deutschland) und Ableitung von Aussagen zur Wahrscheinlichkeit von Niederschlägen für Perioden unterschiedlicher Dauer

Unter diesen Voraussetzungen können mit ZEPHYR2 Szenario- Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik erfolgen, denen Niederschlags- Szenarien bestimmter (d.h. wählbarer) Wahrscheinlichkeit zugrunde liegen.

2. Monatsniederschläge ohne statistischen Hintergrund: die Monatsniederschläge sind frei wählbar; entsprechend können die darauf basierenden Bodenfeuchte- Berechnungen mit ZEPHYR2 nur Ergebnisse für die getroffenen Annahmen (die zugrunde gelegten Monatsniederschläge) erbringen, es sind jedoch keine Aussagen zur Wahrscheinlichkeit, mit der die Ergebnisse eintreten, ableitbar.

b) Potentielle Verdunstung

Auch bzgl. der Verdunstung sind Monatswerte die Datengrundlage und es erfolgt – wie beim Niederschlag – eine vergleichbare Aufteilung auf Einzeltage und ggfs. die Berücksichtigung der Situation, wenn ein Monat nur teilweise in das Szenarium eingeht.

Hinsichtlich der Qualität der Monats- Verdunstungswerte werden diese aber auf eine andere Weise als beim Niederschlag behandelt, nämlich deutlich vereinfacht. Das erscheint berechtigt, weil die Variabilität der monatlichen Verdunstung bzgl. eines bestimmten Monats (Jan, Feb, ...) geringer ist als beim Niederschlag. Es werden unterschieden:

- „mittlere“ Potentielle Verdunstung PET eines bestimmten Monats
- „erhöhte“ Potentielle Verdunstung PET eines Monats
- „verminderte“ Potentielle Verdunstung PET eines Monats

Die Werte der „mittleren“ Verdunstung beruhen i.d.R. auf Stations-bezogenen Angaben des DWD, da die Nutzung anderer Datenquellen meist schwierig ist. Es ist aber auch möglich, die Werte frei festzulegen – dann allerdings hat die Kennzeichnung „mittel“ keinen inhaltlichen Hintergrund mehr. Der Wert der „erhöhten“ Verdunstung wird von ZEPHYR2 ausgehend von der „mittleren“ Verdunstung berechnet. Die Berechnungsmethode beruht auf Ausführungen von HANKE et al. (1991) zur Schwankung der Verdunstungswerte in den Monaten des Jahres und der Berücksichtigung der zeitlichen Dauer eines Szenarios. Gleiches gilt für die „verminderte“ Verdunstung.

17.2.1.2 Konkrete Optionen

Entsprechend den zuvor beschriebenen Überlegungen sind in ZEPHYR2 bestimmte Optionen hinsichtlich der Festlegung von Niederschlags- und Verdunstungswerten für Szenarien vorgesehen (**Tabelle 17-1**).

Tabelle 17-1. In ZEPHYR2 vorgesehene Optionen bzgl. Monatswerten von Niederschlag und Verdunstung sowie Art und Qualität der Daten

Herkunft Wetterdaten	inhaltlicher Hintergrund bzw. voraussichtlicher Zweck	Art der Daten			
		Niederschlag		Potentielle Verdunstung	
		Mittelwert	Variabilität	Mittelwert	Variabilität
DWD Climate Center, Mittelwerte Monat	Stationen des DWD mit langjährigen Messungen	+	+	+	O
eigene Wetterstation, Mittelwerte Monat	langjährige Messungen einer eigenen Station (Monats- mittelwerte berechenbar)	+	□	+ bzw. □	O
andere Wetterstation (nicht eigene oder DWD), Mittelwerte Monat	langjährige Messungen einer fremden (nicht eigenen) Station (Monatsmittelwerte berechenbar)	+	□	+ bzw. □	O
Datenzusammenstellung ohne statistischen Hintergrund	Monatswerte, die jedoch nicht als statistisch gesicherte Mittelwerte gelten können	-	-	-	-
Datenherkunft unbekannt	z.B. fiktive, angenommene Monatswerte	-	-	-	-

- + Angaben bzgl. Mittelwert / Variabilität vorhanden
- O Angabe zur Variabilität Parameter unter bestimmten Annahmen gegeben (s. Text)
- Angabe zur Variabilität Parameter durch Übertragung regional gültiger Angaben des DWD bzw. Hydrologischer Atlas
- + bzw. □ zutreffend + oder □ entsprechend Vorgabe Nutzer
- Angaben bzgl. Mittelwert / Variabilität nicht vorhanden

Zusätzlich zu den Grundüberlegungen lt. vorstehenden Kapitel erfolgen nachstehend zum leichteren Verständnis noch einige Erläuterungen.

Erläuterung einiger Angaben in Tabelle 17-1:

- *Beispiel „Mittelwert bzw. Variabilität Niederschlag“ bzgl. Datenherkunft „eigene Wetterstation, Mittelwerte Monat“: während für eine eigene Station (des Nutzers) Mittelwerte unter der Voraussetzung von mehrjährigen Messungen oft verfügbar sind (Angabe +), ist dies hinsichtlich der Variabilität der Niederschläge i.S. von **Abbildung 17-2** zumeist nicht möglich; deshalb ist es meist erforderlich (und inhaltlich auch berechtigt) bzgl. der Variabilität der Niederschläge auf typische Werte der Region (Hydrol. Atlas) zurückzugreifen (Angabe □)*
- *Beispiel „Mittelwert Potentielle Verdunstung“ bzgl. Datenherkunft „eigene Wetterstation, Mittelwerte Monat“: die Verfügbarkeit dieser Werte erscheint bei eigener Wetterstation möglich (Angabe +), dürfte jedoch die Ausnahme sein; deshalb ist es meist erforderlich (und inhaltlich auch berechtigt) bzgl. der Mittelwerte der Verdunstung auf die Werte einer Station des DWD in der Region zurückzugreifen (Angabe □)*
- *Beispiel „Variabilität Potentielle Verdunstung“ bzgl. Datenherkunft „DWD Climate Center, Mittelwerte Monat“: die Angaben des DWD beinhalten hinsichtlich Pot. Verdunstung die Mittelwerte, jedoch nicht die Variabilität; deshalb berechnet ZEPHYR2 die Variabilität der Verdunstung als ‚erhöht‘ bzw. ‚vermindert‘ gegenüber dem Mittelwert wie in Text (**Kapitel 17.2.1.1**) skizziert (Angabe O)*

17.2.2 Konfiguration des Datenhintergrundes für Szenario- Berechnungen (Vorgehensweise)

Um Szenario- Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik aufgrund von Szenarien des Wetters (Niederschlag und Verdunstung) durchzuführen, wird ein geeigneter Datenhintergrund benötigt, der zu konfigurieren ist. Ein bestimmtes Set an Stations-bezogenen Daten ist in der Datenbank von ZEPHYR2 verankert, ist auch nicht veränderbar und kann genutzt werden (dies betrifft Daten des DWD (DWD-Climate Center)); dieses Set an Daten kann entsprechend den Überlegungen des Nutzers erweitert werden.

Die Konfiguration des Datenhintergrundes für Szenarien-Berechnungen beginnt wie folgt:

- WETTER
- QUELLEN WETTERSZENARIEN

Im sich öffnenden Formular startet die Konfiguration der Szenario- Wetterdaten

- Auswahl der Station aus den Tabellen des Formulars, die für die weiteren Aktionen relevant wird (s. Hinweis)
- je nach Auswahl Radio-Button WAHL AKTION BZGL. SELEKTIERTER STATION ist das weitere Vorgehen wie in nachstehenden Unterpunkten beschrieben
- ...

Hinweis:

ist keine der in den Tabellen des Formulars aufgelisteten Stationen für Ihre Region geeignet, so wählen Sie eine Station, die dieser Bedingung am nächsten kommt; eine Station muß in jedem Fall gewählt werden, um eine der nachfolgenden Aktionen ausführen zu können

a) Auswahl Station für Szenario- Berechnungen

Wenn entsprechend dem Schritt zuvor in den Tabellen des geöffneten Formulars eine Station ausgewählt ist, deren Monats- Wetterdaten Grundlage für Szenario- Berechnungen erfolgen sollen, so ist die entsprechende Aktion zu wählen.

- ...
- Wahl der Aktion STATIONSWERTE FÜR SZENARIO- BERECHNUNGEN VERWENDEN
- Button WEITER MIT GEWÄHLTER AKTION

Hiermit ist jene Station festgelegt, welche Monats- Wetterdaten für die Szenario- Berechnungen relevant werden.

b) Eingabe neuer Station

Wenn entsprechend dem Schritt zuvor in den Tabellen des geöffneten Formulars eine Station ausgewählt ist, die in der Region des Nutzers liegt, jedoch hinsichtlich der Monatswerte N, PET lokal angepaßte Werte (eigene oder fremde) genutzt werden sollen, so ist die entsprechende Aktion zu wählen, um einen neuen Datensatz zu erzeugen.

- ...
- Wahl der Aktion NEUE WETTERDATEN EINGEBEN IN DER REGION DER AUSGEWÄHLTEN STATION
- Button WEITER MIT GEWÄHLTER AKTION

Im sich öffnenden Formular erfolgt die Konfiguration der neuen Station

- Eingaben der Monatswerte von Niederschlag und Verdunstung in Tabelle
- Eintragungen in die Felder ‚Stationsname‘, ‚Stations-ID‘, ‚Bundesland/Region‘
- Festlegung Art, Herkunft Wetterdaten Station (s. Hinweis)
- Button ÜBERNAHME EINGABEN

Hinweis:

Die Festlegung von Art und Herkunft der Wetterdaten erfolgt zur Kennzeichnung der Qualität dieser Daten i.S. von **Tabelle 17-1**, z.B.:

- Die Nutzung der oberen beiden Optionen (‚eigene Wetterstation, Mittelwerte Monat‘, ‚andere Wetterstation (nicht eigene oder DWD), Mittelwerte Monat‘) setzt voraus
 - daß es sich bei den eingegebenen Werten (N, PET) um Mittelwerte sowie
 - daß die weiter oben ausgewählte Referenzstation selbst eine Station mit statistischem Hintergrund ist. Dies ist insbesondere von Relevanz, da die Angaben zur Variabilität von N und PET von dieser Station übernommen werden!
- Treffen die vorgenannten Voraussetzungen nicht zu, ist eine der beiden unteren Optionen zu wählen (‚Datenzusammenstellung ohne statistischen Hintergrund‘, ‚Datenherkunft unbekannt‘).

c) Stationswerte ändern

Wenn entsprechend dem Schritt zuvor in den Tabellen des geöffneten Formulars eine Station ausgewählt ist, deren Monatswerte N, PET geändert werden sollen, so ist die entsprechende Aktion zu wählen (Hinweis: bei Werten der Qualität ‚DWD Climate Center - Mittelwerte Monat‘ ist eine Änderung nicht möglich)

- ...
- Wahl der Aktion STATIONSWERTE ÄNDERN
- Button WEITER MIT GEWÄHLTER AKTION

Im sich öffnenden Formular erfolgt die Änderung der Werte N, PET der gewählten Station

- Änderungen Monatswerte N, PET vornehmen
- Button ÜBERNAHME EINGABEN

Hinweis:

- die im Hintergrund bestehenden Angaben zur Variabilität lassen sich nicht ändern und bleiben erhalten
- die bisherige Festlegung zur Kennzeichnung der Qualität der Daten i.S. von **Tabelle 17-1** dürfte auch weiterhin gelten und sollte entsprechend i.d.R. unverändert bleiben

d) Löschen Station

Diese Aktion kann evtl. erforderlich werden, da die Anzahl der Stationen in ZEPHYR2 auf 20 begrenzt ist. Stationen der Qualität, DWD Climate Center - Mittelwerte Monat' können nicht aus dem Set gelöscht werden.

- ...
- Wahl der Aktion WETTERSTATION LÖSCHEN
- Button WEITER MIT GEWÄHLTER AKTION

17.3 Durchführung Szenario- Berechnungen

17.3.1 Voraussetzungen und grundsätzliches Vorgehen

Szenario- Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik (Grundlage: in vorigem Kapitel besprochene Monatswerte Niederschlag, Verdunstung) schließen immer i.S. von **Abbildung 17-1** an Berechnungen des Bodenfeuchteverlaufes an, welche auf Real- und Prognosewerten von Niederschlag und Verdunstung (N, V) basieren.

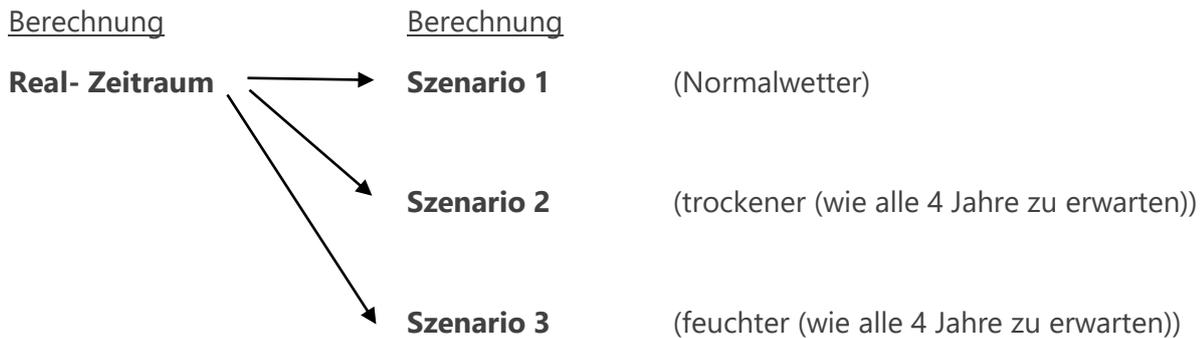
Hinweis:

Auch wenn ein reines Szenario (ohne Periode mit Realwerten des Wetters zuvor) gerechnet werden soll, gilt die vorgenannte Maßgabe; für diesen Fall wäre zu empfehlen, eine Berechnung mit zwei bis drei Tagen fiktiven „Real“- Werten des Wetters durchzuführen, an welche sich die Szenario- Berechnung anschließt.

Voraussetzungen für die Durchführung der Szenario Berechnung sind:

- zuvor muß eine Berechnung der Bodenfeuchtedynamik mit Realwerten des Wetters (Prognosewerte hier ggfs. eingeschlossen), wie in **Kapitel 11** beschrieben, erfolgt sein (die Szenario- Berechnung erfolgt in ZEPHYR2 stets zeitlich anschließend und die Ergebnisse der Bodenfeuchte am letzten Tag Real-Zeitraum fungieren als Startwerte der Bodenfeuchte im Szenario-Zeitraum),
- die Auswahl und bei Bedarf Konfiguration der Wetterstation, die für die Szenario- Berechnungen relevant werden soll, wurde entsprechend **Kapitel 17.2.2** durchgeführt,
- sollen die Szenarien- Berechnungen auch Ergebnisse zur Tiefenverlagerung des Sickerwassers erbringen, so muß diese Berechnung auch bereits bei der Berechnung mit Realwerten N, PET erfolgt sein (s. Anwahl der entsprechenden Option in **Abbildung 11-1**).

Es ist grundsätzlich möglich, an die Berechnung für den Real- Zeitraum die Berechnung von drei Szenarien (als Set) anzuschließen, z.B.:



Werden drei Szenarien berechnet, so stehen im Anschluß für den relevanten Schlag folgende Ergebnisse hinsichtlich der Bodenfeuchtedynamik zur Verfügung, die separat ausgewertet werden können:

- 1 Real- Zeitraum
- 3 Szenarien

Für einige inhaltliche Themen besteht aus fachlicher Sicht keine Möglichkeit (und keine Notwendigkeit) der Auswertung der Szenarien- Berechnungen und der entsprechenden Darstellungen:

- Wirksamkeit von Wetter und Bodenfeuchte für Pflanzenschutz-bezogene Aussagen
- Berechnungsbedarf (Hinweis: es ist allerdings möglich, Berechnungsgaben auch für den Zeitraum von Szenarien einzugeben; es besteht insofern durchaus die Möglichkeit, die Änderung von Bodenfeuchtedynamik und Pflanzenwasserversorgung unter Berücksichtigung des Bewässerungsregimes auch im Szenario- Zeitraum darzustellen und zu bewerten; dies erfolgt über einen Aufruf des Auswerte- Themas ‚Bodenfeuchte und Pflanzenwasserversorgung‘, s. **Kapitel 12.1**)

17.3.2 Konfiguration und Durchführung der Szenario- Berechnungen

Die Einstellung mit anschließendem Start der Szenario- Berechnungen erfolgt im selben Formular wie die Einstellung der Berechnungen der Bodenfeuchtedynamik für den Realzeitraum des Wetters entsprechend **Kapitel 11 , s. Abbildung 11-1.**

Abbildung 17-3. Formular Kontrolle Eingangsdaten für Berechnungen (rechter Teil) als Startpunkt für Einstellung und Berechnung Szenarien

Den rechten Teil dieses Formulars, der für die Berechnungen der Szenarien relevant ist, zeigt **Abbildung 17-3**. Wie im dargestellten Beispiel in der Abbildung erkennbar, liegen die Ergebnisse der Real-Berechnung auf aktuellem Stand vor (dunkelgrüne Ampel), auch die Sickerwege waren berechnet worden, die Box „Szenarien“ weist aus, daß Ergebnisse von Szenarien noch nicht vorliegen, jedoch erfolgen können.

Beginn Einstellung Szenarien in Formular lt. **Abbildung 17-3** wie folgt:

- Button SZENARIEN EINSTELLEN UND BERECHNEN

Im sich öffnenden Formular „Vorgabe Daten der Szenarien“ startet die Konfiguration von bis zu drei Szenarien mit anschließendem Start der Berechnungen (in Bsp. **Abbildung 17-4** für Szenario 2):

- Auswahl Monat, in dem Szenario endet (Hinweis: Szenarien enden immer am letzten Tag des gewählten Monats)
- Button (grüner Pfeil) ►
- die Graphik „Niederschlag“ weist eine Skala des wählbaren Niederschlagsbereiches sowie zugehöriger Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeiten aus; in das Zahlenfeld NIEDERSCHLAGSSUMME VORGABE ist zunächst der Mittelwert des Niederschlags (bezogen auf den Szenario- Zeitraum) eingetragen
- in Zahlenfeld NIEDERSCHLAGSSUMME VORGABE den für das Szenario gewünschten Werte eintragen (dabei an der vorgenannten Grafik orientieren)

- in Options-Box „Verdunstung“ Wahl Option hinsichtlich der zu verwendenden Höhe der Verdunstung (qualitativ)
- Button (grüner Pfeil)▶
- für den eingetragenen Niederschlag werden Über- und Unterschreitungswahrscheinlichkeit berechnet, eine graphische Einordnung erfolgt ebenfalls (gelber Balken in Graphik „Niederschlag“)
- Option BERECHNUNG ANWEISEN wählen
- Button EINSTELLUNGEN SZENARIO übernehmen
- bzgl. des eingestellten Szenarios wird (zur Kontrolle) die Tabelle rechts ausgefüllt
- bei Bedarf gleiches Vorgehen für zwei weitere Szenarien
- Button FERTIG UND START SZENARIEN → die Berechnung der Szenarien wird durchgeführt, anschließend können Auswertungen und Darstellungen erfolgen

Hinweis:

ZEPHYR2 betrachtet die Niederschläge bei der Einstellung der Szenarien als Werte mit statistischem Hintergrund (s. hierzu **Kapitel 17.2**). Besteht dieser Hintergrund jedoch hinsichtlich der Daten nicht (Daten der Qualität ‚Datenzusammenstellung ohne statistischen Hintergrund‘, ‚Datenherkunft unbekannt‘ lt. **Tabelle 17-1**), so werden die in **Abbildung 17-4** enthaltenen statistischen Angaben zwar formal ausgewiesen, haben jedoch unter diesen Umständen keine tatsächliche Aussagekraft bzgl. Wahrscheinlichkeitsangaben!

Enddatum der vorausgehenden Bodenfeuchteberechnung (Realdaten Wetter u. evtl. Prognosewerte): 30.08.24

Szenario 1 Szenario 2 Szenario 3

Szenario startet am: 31.08.2024
 Szenario endet am letzten Tag Monat: (30.11.2024) ▶

- Niederschlag -

Wahrscheinlichkeit in Prozent

Überschreitung		50		Unterschreitung	
95	90	75	25	10	5
5	10	25	75	90	95

86 103 ... 129 159 189 ... 216 232
 Niederschläge [mm] bzgl. der Wahrscheinlichkeitsangaben

Niederschlagssumme Vorgabe [mm]:

Niederschlag in [%] des mittleren Niederschlags : 81 %
 Wahrscheinlichkeit Überschreitung Niederschlag : 75 %
 Wahrscheinlichkeit Unterschreitung Niederschlag : 25 % ▶

- Verdunstung -

vermindert normal erhöht

Verdunstung [mm]: 79

Berechnung anweisen

Szenarien eingestellt
 Wetterstation Normalwerte: Schwerin (MV) s.u.*

	Normalwert	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3
Start	1. Januar	31.08.2024	31.08.2024	
Ende	31. Dezember	30.11.2024	30.11.2024	
Wahrsch.**	50 / 50 %	50 / 50 %	75 / 25 %	

(* Wahrscheinlichkeit Überschreitung /Unterschreitung bzgl. GESAMT- Niederschlag)

	N	V	N	V	N	V	N	V
Jan	54	10	-	-	-	-		
Feb	41	13	-	-	-	-		
Mrz	49	32	-	-	-	-		
Apr	39	62	-	-	-	-		
Mai	52	88	-	-	-	-		
Jun	61	97	-	-	-	-		
Jul	70	104	-	-	-	-		
Aug	63	81	2	3	2	3		
Sep	55	44	55	44	45	44		
Okt	51	22	51	22	42	22		
Nov	51	10	51	10	41	10		
Dez	55	6	-	-	-	-		
GESAMT	641	570	159	79	129	79		

Status bzgl. Anweisung Berechnung des Szenarios:

<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
	ja	ja	

(* Daten: DWD Climate Center; Mittelwerte Monat / Auswahl einer anderen Station unter: Wetter > Quellen Wetterszenarien)

Abbildung 17-4. Einstellung der Wetterdaten für die Szenario- Berechnungen (hier Einstellung der Berechnung 2 Szenarien)

Erläuterung zu Abbildung 17-4 (als Beispiel):

- im dargestellten Fall liegen der Szenario- Berechnung Niederschläge und Verdunstungen der DWD-Station Schwerin (Qualität der Daten: ‚DWD Climate Center, Mittelwerte Monat‘) zugrunde
- die Szenarien starten am 31.8.24 und enden (in diesem Fall beide Szenarien) 30.11.24
- Szenario 1: der Niederschlag im Szenario- Zeitraum beträgt 159 mm (dies entspricht dem langjährigen Mittel der Station Schwerin, somit Überschreitungswahrscheinlichkeit 50%, Unterschreitungswahrscheinlichkeit 50%)
- Szenario 2 (diesem entsprechen bei dem gewählten Reiter „Szenario 2“ die in der Registerkarte in **Abbildung 17-4** sichtbaren Einstellungen): der Niederschlag im Szenario- Zeitraum beträgt 129 mm (dieser Wert hat bzgl. der Station Schwerin eine Überschreitungswahrscheinlichkeit 75%, d.h. „in 3 von 4 Jahren wird der Wert überschritten“, und eine Unterschreitungswahrscheinlichkeit 25%, d.h. „in 1 von 4 Jahren wird der Wert unterschritten“)
- für beide Szenarien wurde die Verdunstungs- Option „normal“ gewählt

Nach Ausführung der Berechnungen sind die Ergebnisse der Szenario- Berechnungen darstellbar:

- Auswahl des Schlages in der linken Menü- Leiste

Es erfolgt eine untersetzte Darstellung der Berechnungsfälle des gewählten Schlages in einem Menü-Block (links unten im ZEPHYR2-Fenster)

- Auswahl des Berechnungsfalles in Menü-Block
- Wahl des gewünschten Auswertethemas zur Darstellung der Ergebnisse

Literaturverzeichnis

ACHTNICH: Bewässerungslandbau (1980)

AG BODEN: Bodenkundliche Kartieranleitung - 5. Auflage, Hannover 2005, in Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.

ATV-DVWK: Verdunstung in Bezug zur Landnutzung, Bewuchs und Boden – Merkblatt M 504. ATV – DVWK – Regelwerk (2002)

BASF usw. (Hersteller der Pflanzenschutzmittel): Gebrauchsanleitungen, Erscheinungsjahre unterschiedlich

Bodenschätzungsgesetz: Gesetz zur Schätzung des landwirtschaftlichen Kulturbodens (BodSchätzG), 1934

BÖRNER, H.: Unkrautbekämpfung. – Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart, New York, 1995, 315 S.

BK Deutschland, Bodenübersichtskarte Deutschland 1:1Mio, BGR, Hannover (1995)

BOHNE, K. u. R. KOITZSCH: Ein digitales Modell zur Simulation des Bodenfeuchteverlaufs für mehrjährige Zeitspannen. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 30 (1986) 7, S. S. 395 – 405

BOHNE, HORN u. BAUMGARTL: Bereitstellung von van-Genuchten-Parametern..., Pflanzenernährung Bodenkunde 156 (1993)

BOUMA, E.: Wetter und Pflanzenschutz. – Roodbont Verlag, Agrometeorologisch Adviesbureau Erno Bouma Dronten, BASF, 2009, 176 S.

CAMPBELL, G.S.: Soil Physics with Basic. Elsevier Sci. Publ. (1985)

DIEZ, T. u. H. Weigelt: Bodenstruktur erkennen und beurteilen. Anleitung zur Bodenuntersuchung mit dem Spaten. Die landw. Zeitschr., München 1991, Sonderdruck

DIN 19682 – 10 – Bodenbeschaffenheit – Felduntersuchungen – Teil 10: Beschreibung und Beurteilung des Bodengefüges - Beuth Verlag, Berlin 2014, 15 S.

DIN 19639 – Bodenschutz bei Planung und Durchführung von Bauvorhaben. - Beuth Verlag, Berlin 2019

DVWK- Merkblätter 234: Gefügestabilität ackerbaulich genutzter Mineralböden, Teil 1: Mechanische Belastbarkeit. - DVWK- Merkblätter zur Wasserwirtschaft 234/1995, 12 S.

DVWK- Merkblätter 238: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen (1996)

DWD-FTP: https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/derived_germany/soil/daily/recent/.

DWD-Climate Center: <https://www.dwd.de>

GEHRING, K. et al.: Chemischer Pflanzenschutz im Ackerbau – Wirkstoffe, Technik, Anwendung. – Agrimedia Erling Verlag 2021, 288 S.

GÜNTER u. KNOBLAUCH: mündliche Mitteilungen, Jena/Großobringen (2005)

- HAD: Hydrologischer Atlas von Deutschland. – Bundesanstalt für Gewässerkunde, Koblenz und Inst. für Hydrologie der Universität Freiburg i.Br., 2003
- HANKE, B. u.a.: Wasser für die Pflanze. – Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin (1991), 272 S.
- HAUBLER, H.: Bei Kälte oder Trockenheit die Anwendung verschieben. – LW 13/2013, S. 28 - 31
- HEITEFUSS, R.: Pflanzenschutz. – Grundlagen der praktischen Phytomedizin. – Thieme Verlag Stuttgart, New York 2000, 399 S.
- HIRTHE: mündliche Mitteilungen, LFA Gülzow-Güstrow (2008)
- KASTENHUBER, F.: Welchen Wachstumsregler wann einsetzen? – Der fortschrittliche Landwirt, 7/2011, S. 30 – 31
- KNOBLAUCH U. ROTH: Bodenfeuchteausschöpfung auf einer tiefgründigen Braunschwarzerde..., Gum-pensteiner Lysimetertagung (1995)
- KOITZSCH, R.: Schätzung der Bodenfeuchte aus meteorologischen Daten, Boden- und Pflanzenpara-metern mit einem Mehrschichtmodell. Z. f. Meteorologie, Berlin 27 (1977) 5, S. 302 - 306
- KOITZSCH, R.; R. HELLING u. E. VETTERLEIN: Simulation des Bodenfeuchteverlaufes unter Berücksichtigung der Wasserbewegung und des Wasserentzuges durch Pflanzenbestände. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 24 (1980) 11, S. 717 - 725
- KOITZSCH, R. u. R. GÜNTHER: Modell zur ganzjährigen Simulation der Verdunstung und der Boden-feuchte landwirtschaftlicher Nutzflächen mit und ohne Bewuchs. Arch. Acker- u. Pflanzenbau u. Bodenkd., Berlin 34 (1990) 12, S. 803 – 810
- KRETSCHMER, H.: Classification of Technological Soil Behaviour. 4th Internat. Conf. Physical Properties of Agric. Materials and their Influence on Technol. Processes. Rostock, 1989, S. 422 – 426.
- KRETSCHMER, H.: Die Bodenkonsistenz – Erkenntnisse, Probleme, Erfordernisse. In: Wiss. Kolloquium K. Bohne. Univ. Rostock, Agrarwiss. Fakultät, 1994, S. 37 - 45
- KRETSCHMER, H.: Zusammenhang zwischen Konsistenzformen und mechanischen Bodenzu-ständen. – In: Aktuelle Aspekte bodenkundlicher Untersuchungen als Beitrag zu Landeskultur und Umweltschutz (Kolloquium Universität Rostock), Hrsg.: FB Landeskultur und Umweltschutz der Universität Rostock, 1995, S. 8 - 13
- KUNDLER, P.: Erhöhung der Bodenfruchtbarkeit, VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1989, 452 S.
- LIEBEROTH, I: Bodenkunde. – VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin, 1982, 431
- MICHEL, R.: Zur Modellierung der räumlichen Bodenfeuchteverteilung und ihrer Anwendung bei der Beurteilung der Befahrbarkeit von Ackerflächen im Jungpleistozän (Dissertation) – Akad. Landw.Wiss. DDR, Berlin, 1990, 99 S.
- MICHEL, R.: Zur stochastischen Simulation der räumlichen Verteilung der Bodenfeuchte - Arch. Acker-Pflanzenbau Bodenkd., Berlin 34(1990)8, 513 – 521
- MICHEL, H.- J.: Recherche u. Analyse typischer Fruchtfolgen auf Diluvial-Standorten Nordostdeutsch-lands in historischer Zeit bis zur Gegenwart (1997)

- MICHEL, R.: Die Feststellung von ertragsminderndem Wasserversorgungsdefizit bei Kulturpflanzen unter Verwendung eines Bodenwasserhaushaltsmodells. Rostock (1986)
- MICHEL, R. U. H. SOURELL: Bewässerung in der Landwirtschaft. – Erling Verlag GmbH Co. KG, Clenze 2014, 176 S.
- MICHEL, R.: Ergebnisse Kartierungen 2004-2008
- MICHEL, R.: Vergleich von Verdunstungswerten nach Penman-Wendling und nach AMBAV. – internes Arbeits-Material (unveröff.), 2020
- MICHEL, R.: Zum Einsatz des Modells ZEPHYR in der Berechnungsberatung und in Ingenieur- und Forschungsprojekten: s. hierzu die Referenzliste Ing. Büro Dr. R. Michel in www.zephyr-zwei.de, weitere Informationen auch über das genannte Ing. Büro (2008 ... 2023)
- MMK: Mittelmaßstäbige Landwirtschaftliche Standortkartierung 1:100.000, beschrieben in SCHMIDT: Geoökologische und bodengeographische Einheiten der chorischen Dimension..., Beiträge zur Geographie 29 (1978) und in LIEBEROTH: Bodenkunde (1982)
- MONTEITH, J.L.: Vegetation and the atmosphere.- Volume 2, Academic Press, 1976
- MUALEM, Y.: A new model for predicting the hydraulic conductivity do unsaturated porous media. Warer Resources Research (1976). – 513 – 522
- MÜLLER, G.: Bodenkunde. VEB Deutscher Landwirtschaftsberlin Berlin, 1980, 392 S.
- PETELKAU, H.; K. SEIDEL u. M. FRIELINGHAUS, M.: Ermittlung des Verdichtungswiderstandes von Böden des Landes Brandenburg und Bewertung von Landmaschinen und landwirtschaftlichen Anbauverfahren hinsichtlich der Beeinträchtigung von Bodenfunktionen durch die Verursachung von schwer regenerierbaren Schadverdichtungen (Forschungsbericht). – Zentrum für Agrarlandschafts- und Landnutzungsforschung (ZALF) e.V., Müncheberg 1998, 144 S.
- RICHTER: Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur des systematischen Fehlers des Hell-mann-Niederschlagsmessers, Berichte DWD 194 (1995)
- PENMAN: Estimating Evaporation, Trans. Amer. Geophys. Union 37 (1956)
- PERKOW, W.; PLOSS, H. Wirksubstanzen der Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmittel. – Paul Paray Hamburg, 1993 – 2007 (mehrbändig)
- ROTH u. WERNER, in: BLUME et al: Handbuch der Bodenkunde (2000), Kap. Bewässerung
- ROTH, GÜNTER, KNOBLAUCH, H. MICHEL: Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen, TLL Jena (2005)
- RÜCKNAGEL, J. et al: Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density – Soil & Tillage Research 92 (2007) 213 - 230
- RÜCKNAGEL, J. et al: Indicator based assessment of the soil compaction risk at arable sites using the model REPRO – Ecological Indicators 52 (2015) 341 – 352
- RÜCKNAGEL, J.: Methodological aspects and algorithms for estimating soil strength and their applications with the model REPRO (Habilitationsschrift). – Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg (2021), 204 S.

SCHINDLER, U.; J. THIÈRE, J. STEIDL U. L. MÜLLER: Bodenhydrologische Kennwerte heterogener Flächeneinheiten. – Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, H. Nr. 87/ Bodenschutz 2, Potsdam 2004, 56 S.

SCHINDLER et al.: Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte. Landnutzung u. Landentwicklung 43 (2002)

van GENUCHTEN, M.Th.: A closed- form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44 (1980), 892 - 898

VETTERLEIN, E.: in TGL 31222/4: Physikalischen Bodenuntersuchung - Bodenfeuchte und Bodenfeuchte-kennwerte. – Verlag für Standardisierung Leipzig, 1985, 6 S.

VETTERLEIN, E.: Bodenphysikalische Parameter auf der Grundlage von Substrat-Horizont-Gruppen. - In: Tag.-Ber. Akad.Landwirtsch.- Wiss. DDR 245, Berlin 1986, S. 241-247

VETTERLEIN, E.: Bodenphysikalische Kennwerte für Substrat- Horizont- Gruppen. In: KOEPKE, V. et al.: Bodenwasserregulierung – Anleitung zur Standortkennzeichnung und Anlagendiagnose. – Müncheberg, 1989. – 139 S.

WENDLING u.a.: Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens..., Z. Meteorol. 41 (1991)

WENKEL, SCHIRACH, KOITZSCH, NEUMEYER: Grundlagen Entwicklungsstand u. Anwendungsmöglichkeiten der 2. Generation der EDV-Berechnungsberatung (1985)

ZWERNER, P.; AMMON, H.-U.: Unkraut: Ökologie und Bekämpfung. – Verlag Eugen Ulmer, 2002, 419 S.

Abkürzungsverzeichnis

Im Text sehr selten verwendete Abkürzungen, die unmittelbar dort erklärt werden, sind nachstehend u.U. nicht enthalten.

θ h_{ψ} , auch SP	Wassergehalt des Bodens Saugspannung	Vol-%, auch [-] entspr. cm^3/cm^3 hPa, kPa, cm WS (Wassersäule)	(θ =griech. Theta) (ψ =griech. Psi) Anlage 4
ξ	spezif. Verdunstungsparameter Boden	[-]	(ξ =griech. Xi)
FK	Feldkapazität	Vol-%, auch [-] entspr. cm^3/cm^3	Anlage 3
% nFK	Prozent nutzbare Feldkapazität	%	Anlage 3
% nFK-We	Prozent nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum	%	Anlage 3
% FK	Prozent Feldkapazität	%	Anlage 3
kf	gesättigte Wasserleitfähigkeit	cm/d (d=Tag) usw., auch $\text{cm}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{d})$	
k, auch ku	ungesättigte Wasserleitfähigkeit	wie vor	
PWP	Permanenter Welkepunkt	wie vor	Anlage 3
SSV	Saugspannungs-Sättigung- Verhalten (math. Funktion)		Anlage 4
ρ_{di} , BD	Trockenrohichte, Bodendichte	g/cm^3	(ρ =griech. Rho)
AD	Aggregatdichte	g/cm^3	
KR	im Bodenprofil oberer Bereich mit typ. Bodenstruktur (z.B. bearbeiteter Teil Ackerkrume)		
KB	sofern vorhanden bzgl. Bodenstruktur spez. Bereich zwischen Ober- und Unterboden (z.B. Krumbasis, Pflugsohle)		
UB	Unterboden		
DWD	Deutscher Wetterdienst		s. im Text
N	Niederschlag	mm, auch l/m^2 (l=Liter)	
V	Verdunstung allgemein		
PET	Potentielle Evapotranspiration	mm, auch l/m^2 (l=Liter)	Anlage 5
AET	Aktuelle Evapotranspiration	wie vor	Anlage 5
T, Temp	Temperatur	$^{\circ}\text{C}$	
SN	Sonnenscheindauer	h (Stunden, i.d.R. je Tag)	
GS	Globalstrahlung	J/cm^2	
WG	Windgeschwindigkeit	m/s usw.	
WH	Windmeßhöhe	m	
RLF	relative Luftfeuchte	%	
BBCH	Einheitliche phänologische Entwicklungsskala Pflanzen (Biologische Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft (BBA), Bundessortenamt (BSA), Industrieverband Agrar (IVA) u.a., 1994)		
PSM	Pflanzenschutzmittel allgemein		
RG	Reifegruppe (von Kartoffeln)		

Anlage 1 Bodenfeuchteansprache im Gelände mittels Fingerprobe

Feuchtestufe	etwa Saugspannung [cm WS o. hPa]	Bodenmerkmale bei der Fingerprobe	
		nichtbindige Böden (Sand bis schwach lehmiger Sand)	bindige Böden (ab stärker lehmiger Sand)
naß bis gesättigt (6)	-5	durch Klopfen sehr starker Wasseraustritt, Probe zerfließt, oft Kernverlust	breiig bis fließend, quillt beim Pressen in der Faust zwischen den Fingern hindurch, nicht mehr ausrollbar, stark klebend
sehr feucht (5)	-50	Finger werden sehr feucht, durch Klopfen wahrnehmbarer bis stärkerer Wasseraustritt	sehr weich, nicht mehr oder gerade noch ausrollbar (zu feucht), stark klebend
schwach feucht (4)	-100	Finger werden noch recht deutlich feucht, durch Klopfen noch wahrnehmbarer Wasseraustritt	weich, gut ausrollbar bis auf 3 mm Dicke, leicht eindrückbar, klebt an Fremdkörpern
frisch (3)	-500	Finger werden etwas feucht, auch durch Klopfen am Bohrer kein Wasseraustritt, dunkelt bei Wasserzugabe nicht oder nur sehr wenig nach	sehr steif, noch ausrollbar auf 3 mm Dicke ohne Zerbröckeln, dunkelt bei Wasserzugabe nicht bis nur sehr wenig nach, schwer eindrückbar, klebt nicht an Fremdkörpern
recht trocken (2)	-2000	Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe noch etwas nach, staubt nicht oder kaum	halbfest, formbar, aber zerbröckelt beim Ausrollen auf 3 mm Dicke, Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe nach
sehr trocken (1)	-10000	helle Bodenfarbe, dunkelt bei Wasserzugabe stark nach, staubig	fest, hart, nicht formbar, Bodenfarbe dunkelt bei Wasserzugabe stark nach

(angelehnt an Ansprache Feuchtestufen in Bodenkundlicher Kartieranleitung (AG Boden, 2005), jedoch nicht identisch)

Anlage 2, Blatt 1. Anforderungen der Kartoffeln an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (aus [1], [2])

Entwicklungsabschnitt	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Aufwendungen an den Zusatzwassereinsatz
Auflaufen bis Knospenbildung/ Knollenansatz	Kein signifikanter Einfluss differenzierter Wasserversorgung auf Ertrag. (Ausnahme: extreme Trockenheit oder Nässe) Mäßige Trockenheit fördert Trockentoleranz.	kein Zusatzwasser
Knospenbildung/Knollenansatz bis Blüte	Wassermangel verzögert Krautentwicklung und Knollenwachstum. Sehr starker Wassermangel am Beginn dieser Periode senkt die Knollenanzahl.	Frühkartoffeln unbedingt beregnen: Sicherung eines Bodenfeuchtegehaltes von mindestens 45 - 50 % nFK Spätere Reifegruppen nur bei starker Bodenaustrocknung (< 30 - 35 % nFK) sowie bei vorangegangener feuchter Anfangsentwicklung beregnen.
Blüte bis deutlich einsetzende Krautabreife	Ausreichende Wasserversorgung ist entscheidend für Endertrag (ganz besonders zwischen Blühende und 3 Wochen danach). Durch anhaltende gute Wasserversorgung werden trockenheitsbedingte Ertragsrückstände aus der vorangegangenen Periode durch längere Lebensfähigkeit des Krautes und sehr starkem Knollenzuwachs fast vollständig ausgeglichen.	Hauptberegnungsperiode für mittelfrühe, mittelspäte und späte Kartoffeln Besonders wichtig ist intensive Beregnung zwischen Blühende und 3 Wochen danach . Bodenfeuchte in dieser Zeitspanne nicht unter 50 % nFK , bei bereits eingetretenen trockenheitsbedingten Wachstumsverzögerungen möglichst nicht unter 55 - 60 % nFK abfallen lassen. Im Pflanzkartoffelbau bei großknolligen Sorten ab 3 Wochen nach der Blüte nur noch bei starker Trockenheit beregnen (sonst Gefahr von Übergrößen).

¹ nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

Für die Kartoffelberegnung sind bei geschlossenem Bestand **Einzelgaben in Höhe von 25 mm** zu empfehlen. **Vor Bestandessschluß** - wie es vor allem bei der Frühkartoffelberegnung häufig der Fall ist - und **gegen Ende der Beregnungsperiode** sollten die **Einzelgaben** aber auf **20 mm** verringert werden, um Dammerosionen oder ein Freispülen der Knollen zu vermeiden.

[1] ROTH, D. u. WERNER, D. (2000): Bewässerung. In: Handbuch der Bodenkunde (Hrsg. : Blume et al.). Wiley-VCH, 43 S.

[2] MICHEL, R. U. H. SOURELL (2014): Bewässerung in der Landwirtschaft. – Erling Verlag GmbH Co. KG, Clenze, 176 S.

Anlage 2, Blatt 2. Anforderungen der Zuckerrüben an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (aus [1], [2])

Entwicklungsabschnitt	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Aufwendungen an den Zusatzwassereinsatz
Aufgang bis Bestandesschluss	<p>Das natürliche Feuchtedargebot der Rübenböden reicht in der Regel aus, um die erforderliche Jugendentwicklung zu gewährleisten.</p> <p>Mäßige Trockenheit fördert die Wurzellänge und Durchwurzelungstiefe, begünstigt dadurch die spätere Speicherkapazität für Zucker und die Trockentoleranz.</p>	<p>nicht berechnen</p> <p>Ausnahmen: a) Auflaufberegnung bei ausgeprägter trockenheitsbedingter Auflaufverzögerung. Verschlämmung durch kleine, im Bedarfsfall wiederholte Gaben und geringe Niederschlagsdichte minimieren. b) Beregnung zur Sicherung der Jugendentwicklung bei anhaltend starker Trockenheit und überdurchschnittlichen Temperaturen.</p>
Bestandesschluss bis Ende August	<p>Wassermangel hemmt Blatt- und Rübenentwicklung und senkt damit den Zuckerertrag.</p> <p>Zu reichliches Wasserangebot begünstigt einseitig die Krautentwicklung auf Kosten der Zuckerertragsbildung.</p> <p>Kurzzeitig trockenheitsbedingte Wachstumsverzögerungen der Rübenkörper können bei nachfolgendem ausreichendem Wasserangebot kompensiert werden, lange Trockenperioden mit Beeinträchtigungen des Blattapparates sind dagegen besonders nachteilig.</p>	<p>berechnen</p> <p>Gewährleistung eines mittleren Bodenfeuchtegehaltes von 50 % nFK¹</p> <p>Bei mäßiger Trockenheit werden Wachstumsverzögerungen durch etwas verspäteten Beregnungsbeginn (max. bis 15.7.) meist wieder ausgeglichen.</p> <p>Zu lange Beregnungspausen mit Bodenfeuchteabfall unter 50 % nFK unbedingt vermeiden.</p>
Anfang/Mitte September (auf leichten Böden bis Ende September)	<p>Bei funktionsfähigem Blattapparat noch vergleichsweise hoher Wasserverbrauch.</p> <p>Starke Trockenheit hemmt die Zuckerertragsbildung, zu hohe Bodenfeuchtegehalte beeinträchtigen Zuckereinlagerung.</p>	<p>Bei strahlungsreicher, trockenwarmer Witterung beregnen und vorzeitigen Beregnungsabbruch vermeiden.</p> <p>Bodenfeuchte über 40 % nFK halten.</p> <p>Gabenhöhe ab Anfang September besonders auf schweren Böden auf 20 mm begrenzen.</p>

¹ nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

Als **Einzelgaben** können auf **gut speicherfähigen, tiefgründigen Lehm- und Lössböden 30 mm**, auf **weniger günstigen Standorten 25 mm** empfohlen werden. **Ab Anfang September** ist die Einzelgabenhöhe auf **20 mm** herabzusetzen, um gegen Ende der Beregnungsperiode zu hohe Bodenfeuchtegehalte zu vermeiden, die sich erfahrungsgemäß ungünstig auf Zuckereinlagerung und Zuckerausbeute auswirken und außerdem zu Ernteerschwernissen führen können.

[1], [2] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 3. Anforderungen des Getreides an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (aus [1])

Entwicklungsabschnitt	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Aufwendungen an den Zusatzwassereinsatz
Auflaufen	Bei ausgetrocknetem Saatbett trotz termingerechter Bestellung ertragsbeeinträchtigende Auflauf- und Entwicklungsverzögerungen besonders bei Herbst-, selten bei Frühljahrsaussaaten.	Bei stark ausgetrockneter oberer Bodenschicht und ausbleibenden Niederschlägen Auflaufberegnung mit geringer Beregnungsintensität und Einzelgaben bis zu 20 mm .
Bestockung (ES¹ 21 - 29/30)	Mäßige Trockenheit fördert Trockenresistenz und Wasserausnutzungsvermögen. Starke Trockenheit und Wärme behindern ausreichende Bestockung. Reichliche Wasserversorgung begünstigt überhöhte Bestockung; anhaltende Überfeuchtung führt besonders bei Gerste zu Wachstumsstörungen.	nicht beregnen Ausnahme: Beregnung (eine Gabe) zur Bestockungsförderung bei ausgeprägt trockenwarmer Frühjahrswitterung und einem Bodenfeuchtegehalt unter 30 % nFK²
Schossen (ES 30/31 - 39/42)	Wassermangel führt zu erhöhter Triebreduktion und damit zu niedriger Anzahl ährentragender Halme. Ausreichende Wasserversorgung ist erforderlich für gute Entwicklung der Ährenanlage. Bei Überfeuchtung Gefahr zu hoher Bestandesdichten. Ausreichende Wasserversorgung ist erforderlich für ausreichende Ährenentwicklung.	beregnen Bodenfeuchtegehalt zwischen 50 und 65 - 70 % nFK einstellen.
Ährenschieben bis Ende Blüte (ES 42/45 - 68/69)	Wassermangel bewirkt Ährenreduktion an Ährenbasis und Ährenspitze und damit niedrige Kornzahl je Ähre.	beregnen Bodenfeuchtegehalt zwischen 40 und 60 % nFK einstellen (nach vorangegangenen Stressperioden möglichst nicht unter 50 % absinken lassen).
Reife/Kornfüllung (ES 70 - 86/87)	Besonders ab beginnender Gelbreife (ES 87) deutlich abnehmender Wasserverbrauch. Anhaltende Trockenheit in Verbindung mit hoher Temperatur führt zur Senescenzbeschleunigung und frühzeitigen Vergilben und Absterben der oberen, noch assimilationsfähigen Organe (Fahnenblatt, grüne Ährenteile). Dadurch ungenügende Kornfüllung und niedrige TKM.	Bis ES 83 (frühe Teigreife) beregnen , wenn Bodenfeuchte unter 30 % nFK abfällt. Beregnung bis ES 85 (Teigreife) nur in Ausnahmefällen (leichte Böden) bei vorher ständig gut mit Wasserversorgten, dichten Beständen und sehr hohen Temperaturen.

¹ ES = Entwicklungsstadien nach BBCH-Code ² nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

Die **Einzelgabenhöhe**, die **bei Beregnungsbeginn** in der Regel **25 mm** beträgt, sollte **nach Abschluss der Blühphase** auf **20 mm** herabgesetzt werden, um eine Lagergefahr des Getreides zu vermindern.

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 4. Anforderungen von Mais an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (aus [1])

Entwicklungsabschnitt	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Aufwendungen an den Zusatzwassereinsatz
Auflaufen bis 6/7 Blatt Stadium	Starke Bodenaustrocknung in der obersten Bodenschicht (10 bis 15 cm Tiefe) bei Bodentemperaturen über 10 bis 12° C ist Ursache für eine Auflaufverzögerung.	Auflaufberegnung besonders bei Zweitfruchtmais vorsehen
6/7 Blatt Stadium bis Fahnnenschieben (bes. 14 Tage nach Beginn des Stadiums)	Wassermangel verzögert Entwicklung des Blattapparates und hemmt Längenwachstum, dadurch wird auch die weitere Entwicklung ungünstig beeinflusst. Wachstumsverzögernde Effekte niedriger Temperaturen werden durch Trockenheit noch verstärkt.	beregnen, ganz besonders Zweitfruchtmais Bodenfeuchte über 40-50 % nFK¹ halten
Fahnnenschieben bis Milch- bzw. Teigreife	Günstige Wasserversorgung fördert Kolbenentwicklung und erhöht die Kolbenmasse. Bei Temperaturen über 17 °C ausreichende Wasserbereitstellung besonders ertragswirksam.	Beregnung besonders ertragswirksam
Milch- bzw. Teigreife	Bei trocken - warmer Witterung noch hoher Wasserbedarf.	Beregnung bei anhaltender Trockenheit fortsetzen

¹nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 5. Anforderungen mehrschnittiger Futterpflanzen¹ an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (KONZACK nach [1])

Zeitraum	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Anforderungen an den Zusatzwassereinsatz
bis Mitte August	<p>Wassermangel führt zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> > Verringerung des Blattwachstums > Ausbildung kleinerer schmalere Blätter > Vergrößerung der Intervalle zwischen dem Erscheinen neuer Blätter > Verringerung des Nachtriebsvermögens nach einer Nutzung > schwächeren Bestockung > Vergrößerung der Absterberate 	<p>in 0 bis 60 cm Bodentiefe auf allen Standorten einen Bodenfeuchtegehalt von 55 - 60 % nFK² gewährleisten</p>
ab Mitte August	<p>Die nachlassende Wachstumsintensität der mehrschnittigen Futterpflanzen im Hoch- und Spätsommer kann durch zusätzliche Wasserversorgung in dieser Zeit nicht aufgehoben aber deutlich abgeschwächt werden. Mit einer ungünstigen Wasserausnutzung ist vor allem bei Welschem Weidelgras im Hochsommer zu rechnen. Deren Zuwachsleistung ist im Vorsommer sehr hoch und stagniert im Hochsommer bei Tagestemperaturen > 24/25° C um in die generative Phase überzugehen. Diese Entwicklung kann durch Bewässerung nicht verhindert werden. Beregnete Bestände lassen nach Abklingen sommerlicher Hitzeperioden aber einen erneuten Aufwuchs zu.</p>	<p>Bei nachlassender Strahlung in 0 - 60 cm Bodentiefe auf allen Standorten einen Bodenfeuchtegehalt von 50 % nFK sichern. Lediglich Knautgras weist eine höhere Toleranz gegenüber zeitweilig niedrigen Bodenfeuchtegehalten (< 50 % nFK) auf.</p>

¹ Welsches Weidelgras, Knautgras, Rotklee, Klee-Grasgemische, Grünland

² nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 6. Anforderungen von Gemüse an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (KONZACK nach [1])

Gemüse	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Anforderungen an den Zusatzwassereinsatz
Blatt- und Kohlgemüse (Blumenkohl, Brokkoli, Kopfkohl, Kohlrabi, Blattsalate, Spinat)	Diese Gemüsearten sind während der gesamten Vegetationsperiode auf eine gleichmäßige, hohe Bodenfeuchte angewiesen.	Eine regelmäßige Zusatzwasserversorgung zum Ausgleich auch bereits kurzer Trockenperioden ist zu empfehlen. Besonders Gemüse, das für den Frischverzehr bestimmt ist (Salate, Blumenkohl), ist bis unmittelbar zur Ernte zu bewässern.
Wurzelgemüse (Möhre, Rettich, Schwarzwurzel, Rote Beete, Porree, Knollensellerie, Zwiebel)	Diese Gemüsearten haben eine relativ langsame Jugendentwicklung mit vergleichsweise geringem Wasserbedarf.	Zusatzwasserversorgung vor allem zur Auflauf- und Bestandessicherung erforderlich. Die Hauptberegnungsperiode setzt mit dem Schließen der Bestände ein. Ab diesem Entwicklungszeitpunkt ist eine möglichst ausgeglichene Wasserversorgung ohne Trockenperioden zu gewährleisten.
Fruchtgemüse (Gemüsebohne, Gemüseerbse, Gurke, Tomate, Zucchini)	Wichtig ist auch hier die Sicherung eines lückenlosen, leistungsfähigen Pflanzenbestandes. Unmittelbar vor sowie am Anfang der Blühperiode ist eine nur mäßige Wasserversorgung für die Blütenbildung förderlich. Mit der Ausbildung der Früchte setzt dann ein verstärkter Wasserbedarf ein, der bis zur Ernte anhält.	Zusatzbewässerung nach der Aussaat oder Pflanzung zu empfehlen. mäßig bewässern Trockenperioden sind in diesem Entwicklungsabschnitt unbedingt zu vermeiden.

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 7. Anforderungen von Äpfeln und Erdbeeren an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (KONZACK nach [1])

Zeitraum	Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Anforderungen an den Zusatzwassereinsatz
Äpfel		
Mai - Juni	Eine ausreichende Wasserversorgung dient der Optimierung des Triebwachstums und der ersten Phase des Fruchtwachstums.	Bodenfeuchtegehalt nicht unter 50 % nFK¹ sinken lassen
Mitte Juli bis Anfang August	Eine mäßige Wasserversorgung mit kurzzeitigen Trockenperioden ist vorteilhaft, um die in dieser Zeit stattfindende Blütenknospendifferenzierung zu stimulieren.	mäßige Bewässerung
ab Mitte August	Fruchtentwicklung	Bodenfeuchtegehalt nicht unter 50 % nFK sinken lassen
Erdbeeren		
nach der Pflanzung	Der Anbau erfordert in den meisten Anbaugebieten einen hohen Zusatzwasserbedarf mit weitgehendem Ausgleich der klimatischen Wasserbilanz.	Anpflanzberechnung
ab Blühende bis kurz vor Abschluss der Ernte	Das Anbaurisiko ist ohne Bewässerungsmöglichkeit in der Regel sehr hoch.	Hauptberechnungsperiode

¹nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 8. Anforderungen von Sonderkulturen an einen bedarfsgerechten und effizienten Zusatzwassereinsatz (KONZACK nach [1])

Auswirkung unterschiedlicher Wasserversorgung	Anforderungen an den Zusatzwassereinsatz
<p>Hohe Wasseransprüche haben vor allem mehrschnittige Pflanzen, bei denen die Blätter genutzt werden: Pfefferminze Melisse Spitzwegerich</p> <p>Etwa zwei Wochen vor dem jeweiligen Schnitttermin die Bewässerung einstellen, da spätere Wassergaben den Trockenmassegehalt senken und dadurch zu überhöhten Trocknungskosten führen.</p>	<p>Mit der Berenung sollte erst ab einem Bedeckungsgrad von 30 % begonnen werden.</p> <p>Bodenfeuchtegehalt während der Hauptwachstumsperiode nicht unter 50 % nFK¹ abfallen lassen.</p>

¹nFK = nutzbare Feldkapazität des Bodens, der anzustrebende Bodenfeuchtegehalt erstreckt sich stets auf den effektiven Wurzelraum

[1] ... s. Blatt 1 dieser Anlage

Anlage 2, Blatt 9. Berechnungszeitspannen landwirtschaftlicher Kulturen (nach ROTH, 1993, (aus [1]))

Fruchtart	April			Mai			Juni			Juli			August			September				
	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III		
Winterweizen				+	[Berechnungszeitraum]															
Sommergerste				+	[Berechnungszeitraum]															
Kartoffeln, früh				+	[Berechnungszeitraum]															
Kartoffeln, mittelfrüh							[Berechnungszeitraum]													
Kartoffeln, mittelspät-spät							[Berechnungszeitraum]													
Zuckerrübe																				
Rotklee und Klee gras				+	[Berechnungszeitraum]											A				
Welsches Weidelgras				+	[Berechnungszeitraum]											A				
Grün- und Silomais/ Körnermais							[Berechnungszeitraum]													
Wiese/Weide/Mähweide grundwasserfern				+	[Berechnungszeitraum]															
zeitweilig grundwasser- beeinflusst							[Berechnungszeitraum]													

 obere Linie: Böden mit geringer bis mittlerer nutzbarer Feldkapazität
 untere Linie: Böden mit hoher bis sehr hoher nutzbarer Feldkapazität

 Berechnung nur bei Unterschreiten von 30 % nFK im Wurzelraum

A Ansaatberechnung

+ bei trocken - warmer Witterung bis zu einer Woche früherer Berechnungsbeginn

1) je nach Erntetermin

2) Rotklee 5 Tage früherer Abschluß der Berechnung

3) Berechnungsbeginn je nach Grundwasserstand

ROTH, D. (1993): Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf in der Berechnung. - Schr.-Reihe der Thür. Landesanstalt f. Landwirtschaft, H. 6, S. 53 - 86

[1] ROTH, D. u. WERNER, D. (2000): Bewässerung. In: Handbuch der Bodenkunde (Hrsg. : Blume et al.). Wiley-VCH, 43 S.

Anlage 2, Blatt 10. Berechnungszeitspannen von Feldgemüse¹, Erdbeeren und Äpfeln² (aus [1])

Kulturart	Berechnungszeitspanne
> Blumenkohl und Brokkoli bei zeitlich gestaffeltem Anbau	Ende April bis Mitte September
> Gemüsebohne bei zeitlich gestaffeltem Anbau	Ende Juni bis Ende August
> Gemüseerbse bei zeitlich gestaffeltem Anbau	Mitte Mai bis Ende Juni
> Einlegegurke bei zeitlich gestaffeltem Anbau	Anfang/Mitte Juni bis Ende August
> Kopfkohl, spät	Ende Juni bis Mitte/Ende September
> Kopfkohl, früh	Mitte Mai bis Mitte/Ende Juli
> Möhre, spät; Porree	Ende Juni bis Mitte September
> Spargel (Ertragsanlage)	Ende Juni/Anfang Juli bis Ende August
> Speisezwiebel	Anfang Juni bis Ende Juli/ Anfang August
> Erdbeeren (Ertragsjahr)	Ende Mai bis Anfang Juli
> Äpfel (Ertragsanlage)	Ende Mai/Anfang Juni bis Ende August/Anfang September (mit Unterbrechung von Mitte Juli bis Anfang August)

¹ nach PASCHOLD, P.-J. (1999): Geisenheimer Berechnungssteuerung - aktuelle Empfehlungen. Gemüse (2), S. 88 - 92
sowie HENKEN und FRÖHLICH (in ROTH 1993): Richtwerte für den Zusatzwasserbedarf in der Berechnung. - Schr.-Reihe der Thür. Landesanstalt f. Landwirtschaft, H. 6, S. 53 - 86

² nach BLASSE (in ROTH 1993): wie vor

[1] ROTH, D. u. WERNER, D. (2000): Bewässerung. In: Handbuch der Bodenkunde (Hrsg. : Blume et al.). Wiley-VCH, 43 S.

Anlage 3

Erläuterung von Kennwerten des Wasserhaushaltes eines Bodens

1. Zum Begriff und zur Definition des Parameters „Feldkapazität“

Als Feldkapazität (FK in Vol.-%) wird nach AG BODEN (2005) der Wassergehalt bzw. die Wassermenge angesehen, die der Boden gegen die Schwerkraft zu halten vermag (s. auch **Abbildung A3-1**). Konkret definiert AG BODEN sie als den Wassergehalt (in Vol.-%) eines Bodens (der Schicht eines Bodens), der bei einer Saugspannung von 63 hPa (entsprechend pF 1,8)¹ im Boden vorhanden ist (und von diesem so „festgehalten“ wird, daß eine weitere Absickerung nicht mehr stattfindet). Es versteht sich, daß diese Definition die Realität nur recht unvollkommen beschreibt, denn es gibt diesen eindeutigen Moment (bei höherer Bodenfeuchte sickert das Wasser ab, jedoch von diesem Punkt an bei geringer werdender Bodenfeuchte nicht mehr) real meistens nicht in dieser Trennschärfe. So gesehen ist diese Festlegung (Feldkapazität ist gleich Wassergehalt bei Saugspannung 63 hPa) eine Konvention.

Ausgehend von dem zuvor beschriebenen Sachverhalt wird die Festlegung der Feldkapazität in ZEPHYR2 in unterschiedlichen Zusammenhängen auf zwei verschiedene Weisen gehandhabt:

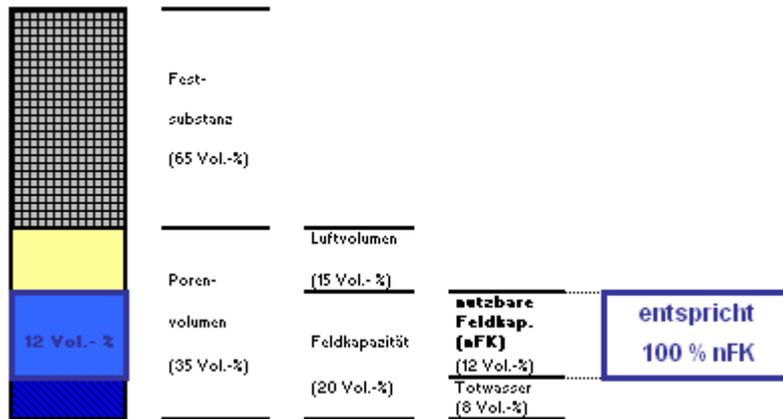
- im Zusammenhang mit der Bewertung der Pflanzenwasserversorgung sowie der Wechselwirkung zwischen Pflanze und Boden überhaupt wird von der o.g. Definition der AG BODEN abgewichen; je nach Bodenart bezieht sich hierbei der Wassergehalt bei Feldkapazität auf spezifische Werte der Saugspannung; dies geht auf reale Erfahrungen hinsichtlich der Messung der Bodenfeuchte an Versuchsstandorten und vor allem auch Lysimetern zurück (VETTERLEIN (1985), KNOBLAUCH et al. (1995, 2005), ROTH et al (2005)); konkret erfolgt die Festlegung der Feldkapazität nach VETTERLEIN (1985)
- im Zusammenhang mit der Berücksichtigung der Bodenfeuchte als Einflußparameter auf die Vorbelastung des Bodens (RÜCKNAGEL, 2007, usw.) wird die Feldkapazität in der von AG BODEN definierten Weise (Feldkapazität ist gleich Wassergehalt bei Saugspannung 63 hPa, s.o., s. auch Anlage 4) verwendet; dies erfolgt aufgrund der Festlegung der Verwendung des Parameters FK in der o.g. Methode von RÜCKNAGEL.

2. Erläuterungen zum Inhalt des Parameters „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität“ (% nFK)

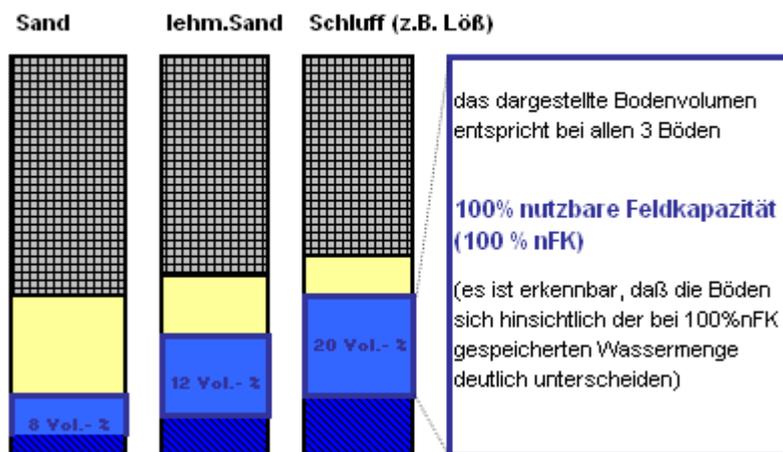
Die nachstehende **Abbildung A3-1** zeigt schematisch und beispielhaft die Aufteilung eines betrachteten Bodenvolumens in die Phasen Festsubstanz, Luft und Wasser. Hinsichtlich des Wasserspeichervermögens bestehen große Bodenunterschiede. Mit der Bezeichnung „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK)“ erfolgt eine Normierung in der Kennzeichnung des Wassergehaltes im Boden.

¹ Zum Begriff ‚Saugspannung‘ und zum Zusammenhang Wassergehalt- Saugspannung s. **Anlage 4**

Phasenaufteilung des Bodenvolumens (Schema, Zahlen als Beispiel)



Phasenaufteilung des Bodenvolumens bei unterschiedlichen Böden



verbale Erklärung einiger Begriffe

- Feldkapazität:** Wassermenge, die der Boden gegen die Scherkraft halten kann, entspricht oft der Wassermenge des Bodens im Frühjahr nach der winterlichen Auffüllungs- und Versickerungsperiode (Frühjahrsfeuchte)
- nutzbare Feldkapazität:** Anteil an der Feldkapazität, der für die Pflanzen nutzbar ist, d.i. Feldkapazität abzgl. Totwasser
- Totwasser:** für die Pflanzen nicht nutzbares Wasser, da zu fest am Boden gebunden (Synonym: Permanenter Welkepunkt)
- Vol.-%** Anteil am Volumen des betrachteten Bodenausschnittes
(bei dem betrachteten Bodenausschnitt kann es sich z.B. um eine Bodenprobe, eine Bodenschicht, den durchwurzelten Bodenbereich usw. handeln)

Abbildung A3-1. Hintergrund zur Erklärung des Begriffes „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität (% nFK)“

3. Erläuterungen zum Inhalt des Parameters „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum“ (% nFK-We)

Es bezeichnet die Bodenfeuchte „100 % nFK im Wurzelraum (% nFK-We)“, daß der Boden im Wurzelraum insgesamt entsprechend seiner Wasserhaltefähigkeit aufgesättigt ist (hierbei enthält der Wurzelraum beim Sand jedoch eine geringe, beim Löß eine hohe Wassermenge).

Der Wert „50 % nFK-We“ zeigt für einen bestimmten Zeitpunkt, daß die nutzbare Feldkapazität nur noch zur Hälfte aufgefüllt ist. Da „nutzbare Feldkapazität“ meist als Synonym für „pflanzenverfügbares Wasser“ gelten kann, wird somit gleichzeitig hinsichtlich des pflanzenverfügbaren Wassers eine Aussage getroffen.

Der Wert „0 % nFK im Wurzelraum“ zeigt, daß kein pflanzenverfügbares Wasser mehr im Wurzelraum vorhanden ist. Das zu diesem Zeitpunkt meist noch vorhandene Restwasser (Totwasser) ist nicht mehr für die Pflanzen nutzbar (Bodenfeuchte gleich oder geringer als der ‚Permanente Welkepunkt‘).

Zusätzliche Interpretationshinweise zu den Parametern „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität“ (% nFK) und „Bodenfeuchte in Prozent der nutzbaren Feldkapazität im Wurzelraum“ (% nFK-We) sowie Hinweise für spezifische Situationen

*In Abhängigkeit von der Pflanzenart haben sich bestimmte Entwicklungsstadien als besonders bedeutsam hinsichtlich der Wasserversorgung der Pflanzen erwiesen. In diesen Stadien wirkt sich der Grad der Wasserversorgung vorrangig auf den Ertrag aus, wie Versuche von Forschungseinrichtungen zeigten. In Anlehnung an ROTH erfolgt in **Anlage 2** eine Beschreibung der Wasseransprüche der Pflanzen und es werden Angaben zum Optimalbereich %nFK-We gemacht.*

*Für bestimmte Entwicklungsstadien kann ein Bereich der optimalen Feuchte angegeben werden. Für diese Zeiträume konnte ein Einfluß der Bodenfeuchte auf den Ertrag nicht festgestellt werden. Es handelt sich vor allem um frühe Stadien der Pflanzenentwicklung. Sehr geringe Bodenfeuchten im Wurzelraum und in einzelnen Bodenschichten können aber ein Hinweis auf entwicklungshemmende Bodentrockenheit sein. Hinweise dazu gibt ebenfalls **Anlage 2**. Treten diese Situationen sehr geringer Bodenfeuchte lt. Berechnung ein, sollte auch unter Begutachtung des Pflanzenbestandes und Bodens vor Ort und unter Berücksichtigung der Hinweise **Anlage 2** entschieden werden, ob eine Beregnung erfolgen sollte (z.B. Auflaufberegnung, Beregnung in der Bestockung bei Getreide, weiteres s. **Anlage 2**).*

*Gerade im Anfangsstadium der Pflanzenentwicklung mit noch geringer Durchwurzelungstiefe liegt häufig eine Austrocknung der oberen etwa 10 Boden- cm vor (s. die nachstehende **Abbildung A3-2**). Der Grund ist die hohe Verdunstung von der Bodenoberfläche bei noch geringer Bedeckung. Das Bild zeigt, daß in diesem Fall die „nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum“ (%nFK-We) sehr geringe Werte haben kann, obwohl der Boden ab etwa 10 cm noch ausreichend feucht ist. Letzteres wird deutlich, wenn die %nFK- Werte einzelner Tiefen betrachtet werden. Unter diesen Umständen müssen auch sehr niedrige Werte der „nutzbare Feldkapazität im Wurzelraum“ (%nFK-We) nicht immer als Beregnungserfordernis interpretiert werden.*

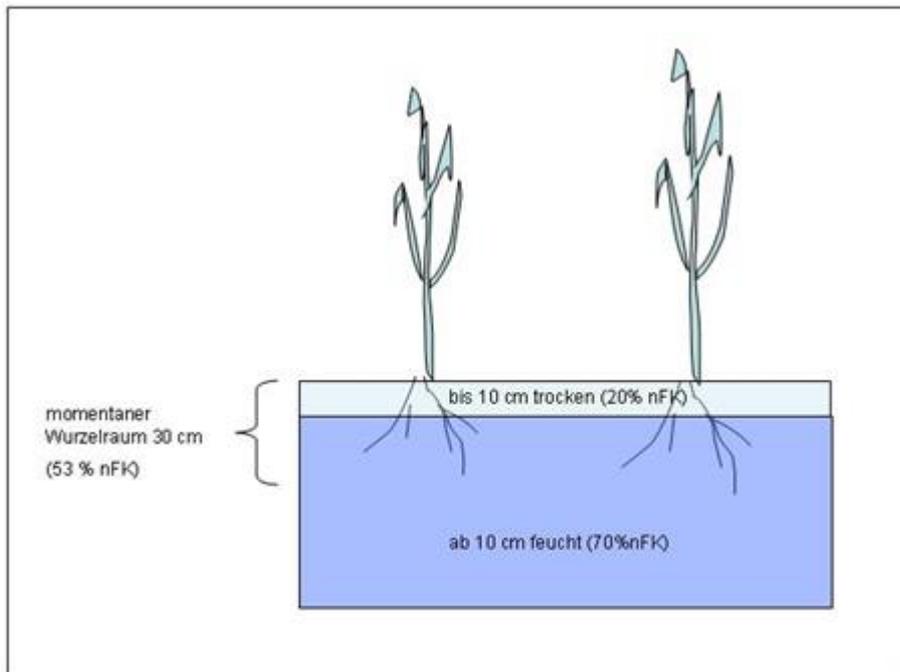


Abbildung A3-2. Die Bodenfeuchte in einzelnen Bodenschichten und im Wurzelraum insgesamt

Schlußbemerkung:

Hinsichtlich eines vertieften Verständnisses wird auf eine vielfältige bodenkundliche Fachliteratur und auf MICHEL u. SOURELL (2014) sowie EHLERS (1996) verwiesen.

Literatur:

AG BODEN: Bodenkundliche Kartieranleitung - 5. Auflage, Hannover 2005, in Kommission: E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, 438 S.

EHLERS, W.: Wasser in Pflanze und Boden. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1996, 272 S.

KNOBLAUCH U. GÜNTHER: mündliche Mitteilungen, Jena/Großbröningen (2005)

KNOBLAUCH U. ROTH: Bodenfeuchteauschöpfung auf einer tiefgründigen Braunschwarzerde..., Gumpensteiner Lysimetertagung (1995)

MICHEL, R. u. H. SOURELL: Bewässerung in der Landwirtschaft. – Erling Verlag GmbH Co. KG, Clenze 2014, 176 S.

ROTH, GÜNTER, KNOBLAUCH, H. MICHEL: Wasserhaushaltsgrößen von Kulturpflanzen unter Feldbedingungen, TLL Jena (2005)

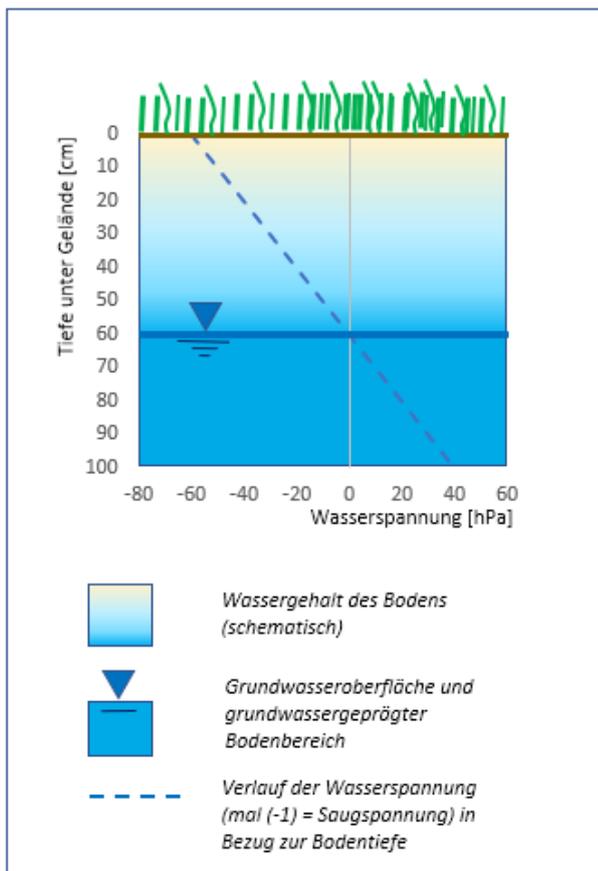
RÜCKNAGEL, J. et al: Estimating precompression stress of structured soils on the basis of aggregate density and dry bulk density – Soil & Tillage Research 92 (2007) 213 - 230

VETTERLEIN, E.: in TGL 31222/4: Physikalischen Bodenuntersuchung - Bodenfeuchte und Bodenfeuchte-kennwerte. – Verlag für Standardisierung Leipzig, 1985, 6 S.

Anlage 4

Erläuterung der Saugspannung als Parameter des Bodenwasserhaushaltes

Neben dem Wassergehalt (in Vol.-%), also dem Anteil des Wassers am Bodenvolumen ist die Wasserspannung (→ Saugspannung) ein wesentlicher Parameter, der einen Boden/eine Bodenschicht in seinem Bodenfeuchte-bezogenen Zustand kennzeichnet. Vereinfacht ausgedrückt beschreibt die Wasserspannung (→ Saugspannung) die Kraft, mit welcher der Boden das in ihm befindliche Wasser hält. An der Grundwasseroberfläche ist der Wert der Wasserspannung Null (das Wasser bewegt sich frei und füllt alle Poren des Bodens), unterhalb der Grundwasseroberfläche steigt die Wasserspannung (größer Null).



Oberhalb der Grundwasseroberfläche wird – einen Gleichgewichtszustand angenommen – das Wasser im Boden vor allem durch Kapillarkräfte in den Poren des Bodens gehalten. In dem bereits genannten Gleichgewichtszustand halten sich diese Kapillarkräfte mit der Gravitationskraft die Waage und das Wasser bewegt sich in diesem Zustand nicht. Mit größer werdendem Abstand von der Grundwasseroberfläche steigt die notwendige Kapillarkraft, um das Wasser zu halten. Die Poren, in denen das Wasser noch gehalten werden kann, werden kleiner (die Kapillarkräfte sind vom Porendurchmesser abhängig). Wieviel Wasser in einer Schicht des Bodens gehalten werden kann, wie hoch somit der Wassergehalt des Bodens ist, hängt vom Anteil unterschiedlich großer Poren ab und vom Abstand von der Grundwasseroberfläche (**Abbildung A4_1**).

Abbildung A4-1. Verlauf der Wasserspannung (→ Saugspannung) und des Wassergehaltes in einem Grundwasser-beeinflussten Boden (schematisch)

Festlegung in ZEPHYR2

Da oberhalb der Grundwasseroberfläche fast immer negative Wasserspannungen wirksam sind, wird hier nachstehend meist von Saugspannung gesprochen; diese ist im Betrag der Wasserspannung gleich, wird jedoch häufig (nicht immer!) mit positivem Vorzeichen (Saugspannung = Wasserspannung $\times (-1)$) versehen;

Hinweis: hinsichtlich des Vorzeichens im gerade erklärten Sinne besteht eine starke Inkonsistenz in der Handhabung der Saugspannung, weshalb Angaben stets aus der Logik des jeweiligen Sachverhaltes geprüft werden sollten (diese mangelnde Konsequenz gilt auch für ZEPHYR2)¹

¹ ein Grund dieser „mangelnden Konsequenz“ ist, daß z.B. in graph. Darstellungen (s. auch Abbildung A4-2) oft logarithmierte Achsenteilungen und Werte der Saugspannung verwendet werden

Für einen bestimmten Boden mit bestimmter Porengrößencharakteristik gibt es somit einen engen Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Saugspannung. Mit Bezug auf **Abbildung A4-1** bedeutet dies z.B.: in einer Bodentiefe von 10 cm (entsprechend 50 cm oberhalb des Grundwassers) ist die Saugspannung = 50 hPa (entspricht nach obiger Festlegung Wasserspannung = -50 hPa); der Wassergehalt ist jedoch unter diesen Bedingungen bei einem Sandboden (geringer Anteil von kleinen und mittleren Poren) geringer als bei einem Lehmboden (höherer Anteil kleiner und mittleren Poren); dies zeigt **Abbildung A4-2**.

Der enge, für jeden Boden spezifische Zusammenhang zwischen Wassergehalt und Saugspannung wird in der „Saugspannung- Wassergehalt-Funktion“ eines Bodens ausgedrückt (**Abbildung A4-2**).

Hinweis

bzgl. der Saugspannung- Wassergehalt-Funktion gibt es abweichende Bezeichnungen oder Darstellungsformen dieser Beziehung (z.B. ‚Wasserspannung- Wassergehalt-Funktion‘, ‚Saugspannungs- Sättigungs-Verhalten (SSV)‘)

Saugspannung- Wassergehalt-Funktionen eines Bodens sind eine wesentliche (programminterne) Grundlage zur Berechnung der Bodenfeuchtedynamik in ZEPHYR2, da sie das Verhalten des Wassers im Boden zu einem wesentlichen Teil beschreiben. Aus der Saugspannung- Wassergehalt-Funktion eines Bodens lassen sich, wie **Abbildung A4-2** zeigt, auch wesentliche weitere Parameter wie Feldkapazität (s. auch **Anlage 3**), Permanenter Welkepunkt und Porenvolumen ableiten.

Auch in der Darstellung von Ergebnissen in ZEPHYR2 werden sowohl der Wassergehalt als auch die Saugspannung und natürlich die abgeleiteten Parameter (Feldkapazität usw.) zur Kennzeichnung der Bodenfeuchtedynamik und zur thematisch bezogenen Interpretation verwendet.

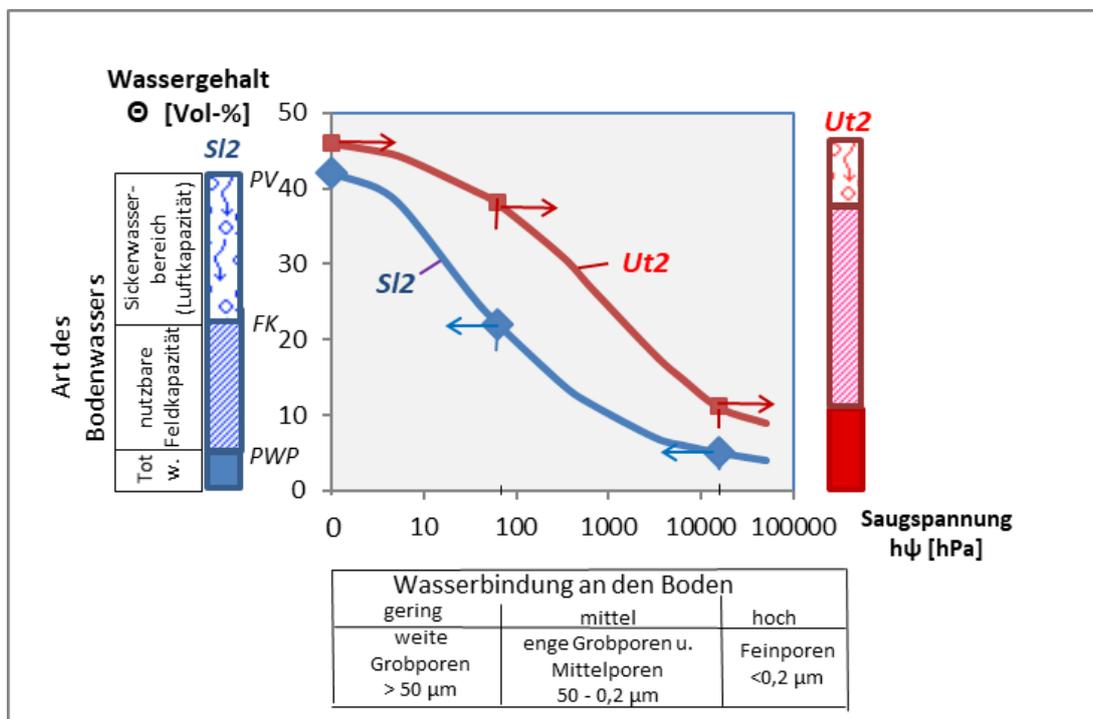


Abbildung A4-2. Die Saugspannung- Wassergehalt-Funktionen eines lehmigen Sandbodens (SL2) und eines tonig-schluffigen Bodens (Ut2) sowie Ableitung bodenhydrologischer Kennwerte dieser Böden (PV=Porenvolumen, FK=Feldkapazität, PWP=Permanenter Welkepunkt), nach: MICHEL u. SOURELL (2014)

Hinweise

1. auf folgenden Sachverhalt, der sich aus **Abbildung A4-2** ergibt, jedoch z.T. für Irritationen sorgt, sei noch verwiesen:

- bei trockenem Boden: → geringe Wassergehalte → hohe Saugspannungen
- bei feuchtem Boden: → hohe Wassergehalte → geringe Saugspannungen

2. In **Abbildung A4-1** und auch im obigen Text wird die Saugspannung immer auch in den Zusammenhang zur Grundwasseroberfläche gestellt. Es stellt sich jedoch auch in nicht-Grundwasser-beeinflußten Böden eine Art Gleichgewichtszustand hinsichtlich des Saugspannungs-Verlaufes im vertikalen Profil des Bodens ein, auch wenn dieses Saugspannungsprofil anders ist als beim Grundwasser-Boden und der Gleichgewichtszustand weniger stabil ist

Schlußbemerkung:

Hinsichtlich eines vertieften Verständnisses wird auf eine vielfältige bodenkundliche Fachliteratur und auf MICHEL u. SOURELL (2014) sowie EHLERS (1996) verwiesen.

Literatur:

EHLERS, W.: Wasser in Pflanze und Boden. – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart 1996, 272 S.

MICHEL, R. u. H. SOURELL: Bewässerung in der Landwirtschaft. – Erling Verlag GmbH Co. KG, Clenze 2014, 176 S.

Anlage 5

Erläuterung von Kennwerten des Wasserhaushaltes eines Bodens

1. Der Begriff „Verhältnis realer zu potentieller Verdunstung (AET / PET)“

a) Potentielle Verdunstung

Die Potentielle Verdunstung (Potentielle Evapotranspiration PET) ist die atmosphärisch mögliche Verdunstung an einem lokalen Ausschnitt der Erdoberfläche, die bei guter Wasserversorgung aus dem Boden auch real erfolgen würde.

In ZEPHYR2 wird wie folgt unterschieden:

- Potentielle Verdunstung als Referenzwert: die PET eines kurzen, gut mit Wasser versorgten Grasbestandes (Referenzverdunstung „kurzes Gras“ als Standard der meteorologischen Dienste, aus Wetterdaten nach PENMAN (1956) / WENDLING (1991) berechnet)
- Potentielle Verdunstung am Standort: die PET des Pflanzenbestandes am konkreten Standort – hierbei wird insbesondere berücksichtigt, daß in Abhängigkeit vom Wachstum der Pflanzen durch zunehmende Ausbildung des Blattapparates die PET höher als beim Referenzstandort „kurzes Gras“ sein kann.

b) Reale Verdunstung

Die Reale Verdunstung (Aktuelle Evapotranspiration AET) ist die durch den Bestand tatsächlich realisierte Verdunstung. Bei sehr guter Wasserversorgung entspricht sie dem Wert der „Potentiellen Verdunstung am Standort“, bei Austrocknung des Bodens liegt sie deutlich unter diesem Wert.

Das „Verhältnis realer zu potentieller Verdunstung (AET / PET)“ zeigt somit an, zu welchem Anteil (in %) die „Potentiellen Verdunstung am Standort“ durch die „Reale Verdunstung“ realisiert wurde.

2. Interpretationshinweise zum Parameter „Verhältnis realer zu potentieller Verdunstung“ (AET / PET) sowie Hinweise für spezifische Situationen

Nach den Ausführungen im Text weiter oben ist bei Werten AET / PET um 80% und höher von guter Wasserversorgung des Pflanzenbestandes auszugehen, Werte um 40% und niedriger signalisieren zunehmenden Trockenheitsstreß.

Besonders in Jugendstadien der Pflanzenentwicklung muß diese Interpretation der AET / PET – Werte jedoch oft modifiziert werden, worauf im Folgenden eingegangen wird.

Die in der folgenden **Abbildung A5-1** dargestellten Situationen unterscheiden sich vor allem aufgrund der Wirkung eines stark unterschiedlichen Bedeckungsgrades.

Situation 1:

*Aufgrund des geringen Bedeckungsgrades im Frühstadium der Pflanzen sind die ersten etwa 10 cm des Bodens, die der Sonne ungeschützt ausgesetzt sind, durch Verdunstung von der nur schwach bedeckten Bodenoberfläche stark ausgetrocknet, darunter ist es aber noch feucht (linke Seite **Abbildung A5-1**). Durch die Austrocknung der*

oberen 10 cm ist die reale Bodenverdunstung gegenüber der potentiellen Bodenverdunstung stark reduziert. Die Pflanzenverdunstung ist jedoch weniger beeinträchtigt, da der Boden ab 10 cm feucht ist und die Pflanzen aus dieser Tiefe mit Wasser versorgt werden und die Wurzeln weiter in die Tiefe wachsen. Wird die Verdunstung des Standortes insgesamt (Pflanzen- und Bodenverdunstung summarisch) betrachtet, so liegt eine starke Einschränkung der Verdunstung am Standort vor, da die Verdunstung der noch kleinen Pflanzen gegenüber der stark eingeschränkten Bodenverdunstung wenig ins Gewicht fällt. Ein Verhältnis „Reale zu Potentielle Verdunstung“ (AET / PET) von z.B. 40 % würde also einen Trockenstreß anzeigen, der jedoch für die Pflanzen tatsächlich nicht in dem Maß besteht. Diese Möglichkeit sollte beachtet werden, solange die Bedeckungsgrade unter etwa 70% liegen und die oberste Bodenschicht deutlich trockener als die folgenden Schichten sind.

Situation 2:

Bei einem hohen Bedeckungsgrad sind zumeist die Bodenfeuchtedifferenzen im oberen Bodenbereich nur noch gering, da die unmittelbare Austrocknung der obersten Bodenschicht durch die Beschattungswirkung der Pflanzen verhindert wird. Die Verdunstung des Standortes wird weitgehend von der Pflanzenverdunstung (Transpiration) bestimmt, die Bodenverdunstung (Evaporation) hat geringere Bedeutung. Das Verhältnis „Reale zu Potentielle Verdunstung“ (AET / PET) gibt also sehr gut die Verdunstungsbedingungen der Pflanzen wieder (ein Verhältnis

AET / PET von 50%, das etwa aus der Darstellung in **Abbildung A5-1(rechte Seite)** ablesbar ist, weist also auf eingeschränkte, bereits recht nahe am Trockenstreß liegende Verdunstungsbedingungen für die Pflanzen hin).

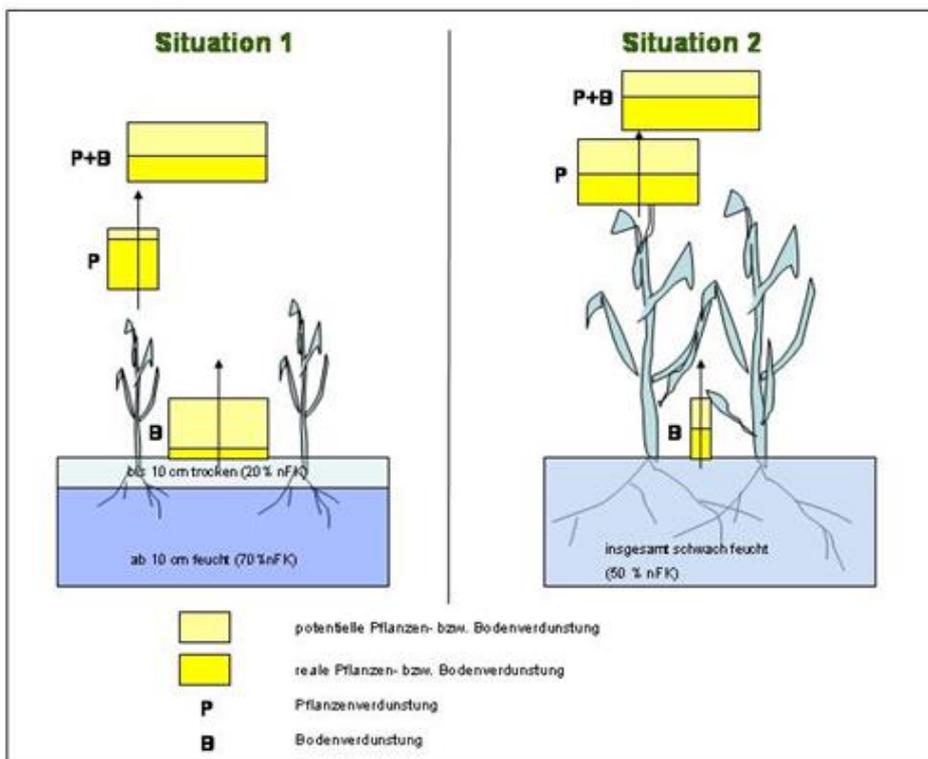


Abbildung A5-1. Komponenten der Verdunstung an einem Standort in Abhängigkeit von Bedeckungsgrad und Bodenfeuchte

Literatur

ATV-DVWK: Verdunstung in Bezug zur Landnutzung, Bewuchs und Boden – Merkblatt M 504. ATV – DVWK – Regelwerk (2002)

PENMAN: Estimating Evaporation, Trans. Amer. Geophys. Union 37 (1956)

WENDLING et al: Bereitstellung von täglichen Informationen zum Wasserhaushalt des Bodens..., Z. Meteo-rol. 41 (1991)

DVWK- Merkblätter 238: Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen (1996)

Anlage 6

Liste Pflanzenschutzmittel (PSM) in ZEPHYR2

Stand: Dez. 2024

Für die als Teilmodell in ZEPHYR2 vorgesehene Situationsbewertung zum Einfluß des Wetters und der Bodenfeuchte auf die Wirksamkeit von Pflanzenschutzmitteln werden zum aktuellen Zeitpunkt (s.o.) folgende Pflanzenschutzmittel (PSM) berücksichtigt (s. **Tabelle**).

Art des PSM	PSM-Spezifikation	Fruchtart	Stadien
Bodenherbizid	Stomp(R)Aqua	Getreide	VA, NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Picon(R)	Getreide	NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Isoproturon(R)	Getreide	VA, NA
Blattherbizid	Sulfonylharnstoffgr. Bsp. Biathlon(R)	Getreide	NA
Blattherbizid	Sulfonylharnstoffgr. Bsp. Starane	Getreide	NA
Blattherbizid	Sulfonylharnstoffgr. Bsp. Lexus	Getreide	NA
Blattherbizid	Kontaktherbizid Bsp. Basagran(R)	Getreide	NA
Blattherbizid	Wuchsstoffe u. Graeserherbizide Bsp. MCPA	Getreide	NA
Wachstumsregulator	Cycocel (u.a.)	Getreide	NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Spectrum(R)	Zuckerruebe	NA
Bodenherbizid (eingeschr. Blatt)	Oblix	Zuckerruebe	NA
Blattherbizid	Phenmedipham (Wirkstoff), Bsp. Kontakt320SC	Zuckerruebe	NA
Blattherbizid	Graeserherbizide Bsp. Focus(R)Ultra	Zuckerruebe	NA
Blattherbizid	Graeserherbizide Bsp. Focus(R)Ultra	Kartoffel	NA
Blattherbizid	Graeserherbizide Bsp. Focus(R)Ultra	Raps	NA
Bodenherbizid	Harnstoffgr. Bsp. Proman	Kartoffel	VA
Blattherbizid mit Bodenwirkung	Sulfonylharnstoffgr./Wirkst. Rimsulfuron (Bsp. Cato)	Kartoffel	NA
Blattherbizid	Kontaktherbizid Bsp. Quickdown	Kartoffel	VA
Blattherbizid	Kontaktherbizid Bsp. Basagran(R)SG	Mais	NA
Blattherbizid	Sulfonylharnstoffgr. Bsp. Arrat(R)	Mais	NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Spectrum(R)Plus/AquaPack	Mais	VA, NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Butisan(R)Kombi	Raps	VA, NA
Wachstumsregulator	Medax(R)Top	Raps	NA
Wachstumsregulator	Carax(R)	Raps	NA
Bodenherbizid mit Blattwirkung	Alliance(R)	Getreide	NA
H. ueber Spross (eingeschr. Wurzel)	Aufnahme untere Sprossachse Bsp. Boxer(R)	Kartoffel	VA

VA ... Anwendung im Voraufbau

NA... Anwendung im Nachaufbau

Literatur:

s. Literaturverzeichnis im Text sowie in ZEPHYR2- Anwendung