

1. Bodensaugspannung in nutzbare Feldkapazität (nFK) umwandeln

Samantha Rubo

2021-12-08

Wasserhaltevermögen der Felder der HGU:

Schicht Nr.	Bezeichnung	100%nFK entsprechen	“Wassergehalt (Vol.% bei 100%nFK)”
1	0-30 cm	49.3 mm	16.4%
2	30-60 cm	46.1 mm	15.4%
3	60-90 cm	43.4 mm	14.5%

Daten unter “Z:\Außenbetrieb\Flächenbelegung\Wasserhaltevermögen Böden Felder Gb.xlsx”

```
knitr::include_graphics("../graphics/Feldkapazität_Thomas.png")
```

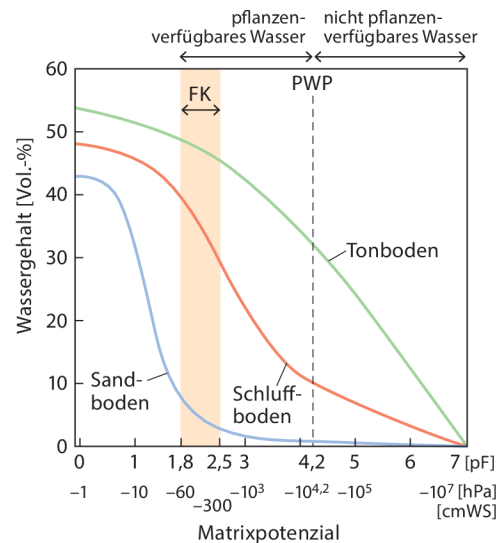


Figure 1: “Beziehung Volumetrischer Wassergehalt ~ Matrixpotential. Berechnungsgrundlage der nFK. Quelle: Thomas F. (2018) Ökophysiologische Leistungen der Höheren Pflanzen. In: Grundzüge der Pflanzenökologie. Springer Spektrum, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-54139-5_3”

Grenzwerte zur Berechnung der nutzbaren Feldkapazität

```
pf_min <- 1.8
pf_max <- 4.2
hPa_min <- 10^pf_min
hPa_max <- 10^pf_max
# Vol% Wasser bei 100% nFK für drei Bodentiefen:
T0020 <- 49.3*(2/3) #20cm statt 30
```

```
T4060 <- 46.1*(2/3) #20cm statt 30
T2040 <- T0020 - (T0020 - T4060) / 2
```

Tensiometer-Daten, Wetter und Bewässerung aus SQLite-Datenbank lesen.

```
# Verbindung zur Datenbank herstellen:
path0 <- "GeoSenSys2020/Data_2020/Database_Protokolle/Database_CSV_Tabellen_HGU/HGU_GeoSenSys_V3_6.db"
# Verbindung zur Datenbank herstellen:
path1 <- ifelse(Sys.info()["user"] == "samantha_machgu",
               "~/Documents/Mac_HGU_Github/",
               "../..")
)
db <- paste0(path1, path0) # DB in other R-Project
db1 <- dbConnect(RSQLite::SQLite(), db)

# Query fuer Tensiometer-Datensatz
query <- "SELECT
  Spinat_Saetze.satz_id,
  -- Varianten.variante_acronym,
  Varianten.variante_H2O,
  Parzellen.wiederholung,
  Tensiometer.zeit_messung,
  Tensiometer.bodensaugspannung_0020_hPa,
  Tensiometer.bodensaugspannung_2040_hPa,
  Tensiometer.bodensaugspannung_4060_hPa

  FROM Tensiometer
  LEFT JOIN Parzellen ON Tensiometer.parzelle_id = Parzellen.parzelle_id
  LEFT JOIN Varianten ON Parzellen.variante_id = Varianten.variante_id
  LEFT JOIN Spinat_Saetze ON Varianten.satz_id = Spinat_Saetze.satz_id
  WHERE Varianten.variante_N = 'N100'
;" #zunächst nur fuer Stickstoff-vollversorgte Varianten
tensio <- dbGetQuery(db1, query)

#### Query fuer Wetter-Daten:
query2 <- "SELECT
  Wetter.satz_id,
  Wetter.datum_wetter,
  Wetter.niederschlag_mm
  FROM
  Wetter"

wetter <- dbGetQuery(db1, query2) %>% # Niederschlag aller Saetze einlesen
  mutate_at("datum_wetter", ~ as_date(.))

# Query fuer Bewaesserungs-Datensatz
query3 <- "SELECT
  Spinat_Saetze.satz_id,
  -- Varianten.variante_acronym,
  Varianten.variante_H2O,
```

```

    Parzellen.wiederholung,
    Bewaesserung.datum_bewaesserung,
    Bewaesserung.wassermengen_mm

    FROM Bewaesserung
    LEFT JOIN Parzellen ON Bewaesserung.parzelle_id = Parzellen.parzelle_id
    LEFT JOIN Varianten ON Parzellen.variante_id = Varianten.variante_id
    LEFT JOIN Spinat_Saetze ON Varianten.satz_id = Spinat_Saetze.satz_id
    WHERE Varianten.variante_N = 'N100'
  "
bewaesserung <- dbGetQuery(db1, query3) %>% # Bewaesserung aller Saetze einlesen
mutate_at("datum_bewaesserung", ~ as_date(.)) %>%
rename(bewaesserung_mm = wassermengen_mm)

query4 <- "SELECT
  satz_id,
  datum_aussaat,
  datum_ernte
FROM Spinat_saetze;"
saetze_aussaat <- dbGetQuery(db1, query4) %>% # Aussaat- und Ernte-Datum aller Saetze einlesen
mutate_at(c("datum_aussaat", "datum_ernte"), ~ as_date(.))

dbDisconnect(db1) # Verbindung zur Datenbank beenden
rm(db, db1, path1, query, query2, query3, query4) # Helfer-Objekte loeschen

```

Daten formatieren und Tagesmittelwerte der Bodensaugspannung berechnen

```

tensio <- tensio %>%
  # Datum formatieren und Tagesmittelwerte bilden
  mutate_at("zeit_messung", ~ as_datetime(.)) %>%
    format.Date(., format = "%Y-%m-%d") %>% # für Tages-Mittelwert
    as_date(.)) %>% # wieder in Datum (class) umformen
  # Faktorstufen sortieren (für Grafik)
  mutate_at("variante_H2O", ~ factor(., levels = c("Wfull_plus", "Wfull", "Wred"))) %>%
  group_by(satz_id, variante_H2O, wiederholung, zeit_messung) %>%
  summarise_at(c(
    "bodensaugspannung_0020_hPa",
    "bodensaugspannung_2040_hPa",
    "bodensaugspannung_4060_hPa"
  ), ~ round(mean(., na.rm = TRUE), digits = 2))

#### "Tage seit Aussaat" anfüegen

saetze_aussaat <- tensio %>% group_by(satz_id) %>%
  summarise(datum_min = min(zeit_messung, na.rm = TRUE)) %>%
  left_join(saetze_aussaat, by="satz_id") %>%
  mutate(tage_verzug = datum_min - datum_aussaat)

tensio <- tensio %>% group_by(satz_id, variante_H2O, wiederholung) %>%
  mutate(tage_seit_aussaat = c(1,diff(zeit_messung)), .after = zeit_messung) %>%
  mutate_at("tage_seit_aussaat", ~cumsum(.)) %>%

```

```
left_join(saetze_ausaat %>% select(satz_id,tage_verzug)) %>%
mutate_at("tage_seit_aussaat", ~as.numeric(.+tage_verzug)) %>%
select(-tage_verzug)
```

#Korrektur der Wassersäule im Tensiometer: Anleitung des Herstellers: <https://pronova.de/neusale/neu/1249/bambach-stecktensiometer-premium> ist bereits in NM Excel-Datei passiert.

hPa in pf umwandeln: log10(hPa)

```
tensio <- tensio %>%
  mutate(
    pf_0020 = log10(bodensaugspannung_0020_hPa),
    pf_2040 = log10(bodensaugspannung_2040_hPa),
    pf_4060 = log10(bodensaugspannung_4060_hPa)
  )
```

nFK berechnen

```
nfk_fun <- function(x) {
  (1 - (x - pf_min) / (pf_max - pf_min)) * 100
}
tensio <- tensio %>% # as_tibble() %>%
  mutate_at(
    c("pf_0020", "pf_2040", "pf_4060"),
    list(nfk = nfk_fun)
  ) %>%
  rename_with(.cols = ends_with("_nfk"), ~ gsub("pf_", "T", .x, fixed = TRUE)) %>%
  # Tabelle komprimieren: 2 Nachkommastellen
  mutate_if(is.numeric, ~ round(., 2))
```

Tabelle formatieren für ggplot

```
tensio_melted <- tidyr::pivot_longer(tensio %>%
  select(c(
    "satz_id", "variante_H20","wiederholung",
    "zeit_messung", "tage_seit_aussaat",
    "T0020_nFK", "T2040_nFK", "T4060_nFK"
  )),
  cols = c("T0020_nFK", "T2040_nFK", "T4060_nFK"),
  names_to = "Bodentiefe",
  values_to = "nFK_prozent"
) %>%
  mutate(Bodentiefe = substr(Bodentiefe, 4, 5) %>% as.numeric()) %>%
  mutate(kategorie = factor("nFK", levels = c("wasserinput", "nFK")))
```

#Tensio bei 0cm erweitern

```
# tensio0 <- tensio_melted %>%
#   filter(Bodentiefe == 20) %>%
#   mutate(Bodentiefe = 0)
#
# tensio_melted <- bind_rows(tensio_melted, tensio0)
#
```

```
# rm(tensio0)
```

Wetter- und Bewässerungsdaten formatieren und zusammenführen

```
# Bewaesserung und Niederschlag in eine Tabelle zusammenfuehren
wasser_gesamt <- tensio %>%
  select(satz_id, variante_H2O, wiederholung, zeit_messung, tage_seit_aussaat) %>%
  left_join(wetter, by = c("satz_id", "zeit_messung" = "datum_wetter")) %>%
  left_join(bewaesserung, by = c("satz_id", "variante_H2O", "wiederholung",
                                "zeit_messung" = "datum_bewaesserung")) %>%
  # Faktorstufen sortieren (für Grafik)
  tidyr::pivot_longer(
    cols = c("bewaesserung_mm", "niederschlag_mm"),
    names_to = "variable", values_to = "value"
  ) %>%
  mutate(kategorie = factor("wasserinput", levels = c("wasserinput", "nFK"))) %>%
  mutate_at("variante_H2O", ~ factor(., levels = c("Wfull_plus", "Wfull", "Wred")))

#stacked values anfüegen fuer plot:
stackedBars_plot <- function(data, gruppen){
  data %>%
    group_by_at(vars(gruppen)) %>%
    mutate_at("value", ~ifelse(is.na(.), 0, .)) %>%
    mutate(value_stacked = cumsum(value)) %>%
    mutate(value_min = ifelse(variable == "bewaesserung_mm", 0, value[1])) %>%
    mutate_at(c("value_stacked", "value_min"), ~ifelse( value == 0, NA, .)) %>%
    ungroup()
}

wasser_gesamt <- stackedBars_plot(
  data = wasser_gesamt,
  gruppen = c("kategorie", "satz_id", "variante_H2O",
              "wiederholung", "zeit_messung", "tage_seit_aussaat")
)
```

#Standardabweichung der Wiederholung ###Daten

```
tensio_sd <- tensio_melted %>%
  pivot_wider(id_cols = c("kategorie",
                          "satz_id", "variante_H2O", ##
                          "zeit_messung", "tage_seit_aussaat", "Bodentiefe"),
              names_from = "wiederholung", values_from = "nFK_prozent") %>%
  rowwise() %>%
  mutate(nFK_sd = sd(c(a,b,c,d), na.rm = TRUE)) %>%
  select(-a, -b, -c, -d) %>%
  ungroup

wasser_gesamt_sd <- wasser_gesamt %>%
  filter(variable != "niederschlag_mm") %>%
  #niederschlag_mm ausschließen, da alle Wiederholungen gleich.
  pivot_wider(id_cols = c("kategorie",
                          "satz_id", "variante_H2O", ##
```

```

      "variable", "zeit_messung", "tage_seit_aussaat"),
      names_from = "wiederholung", values_from = "value") %>%
rowwise() %>%
mutate(wasser_sd = sd(c(a,b,c,d), na.rm = TRUE)) %>%
mutate_at("wasser_sd", ~ifelse(==0, NA,.)) %>%
select(-a, -b, -c, -d) %>%
ungroup

```

#Funktionen für nFK-Plot aus Skript sourcen:

```
source("../scripts/nfk_plot_functions.R")
```

#Beispiel:

#p<-

```

plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2021, Satz 3, Feld 6", wdh = FALSE, grafik = NULL) #grafik = "smooth"
plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wred'",
      wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = "smooth")

```

```
#ggsave(filename = "../graphics/X20cm_Schritte/nFK_2022_Satz1.png", plot = p<, device = "png", width =
```

#Plot-Funktion ausfuehren

```

#c("smooth", NULL)
#grafik <- "smooth" #NULL #fuer 20cm-Schritte.
grafik <- NULL

```

```

p2 <- plot_nfk(satz_nr = 2, subtitle = "2020, Satz 2, Feld 4a (*Paper)", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p3 <- plot_nfk(satz_nr = 3, subtitle = "2021, Satz 1, Feld 6", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p4 <- plot_nfk(satz_nr = 4, subtitle = "2021, Satz 2, Feld 4b", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p5 <- plot_nfk(satz_nr = 5, subtitle = "2021, Satz 3, Feld 6", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p6 <- plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2022, Satz 1, Feld 4a", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p7 <- plot_nfk(satz_nr = 7, subtitle = "2023, Satz 2, Feld 4b", wdh = FALSE, grafik = grafik)
p8 <- plot_nfk(satz_nr = 8, subtitle = "2023, Satz 3, Feld 4a", wdh = FALSE, grafik = grafik)

```

p2; p3; p4; p5; p6; p7; p8

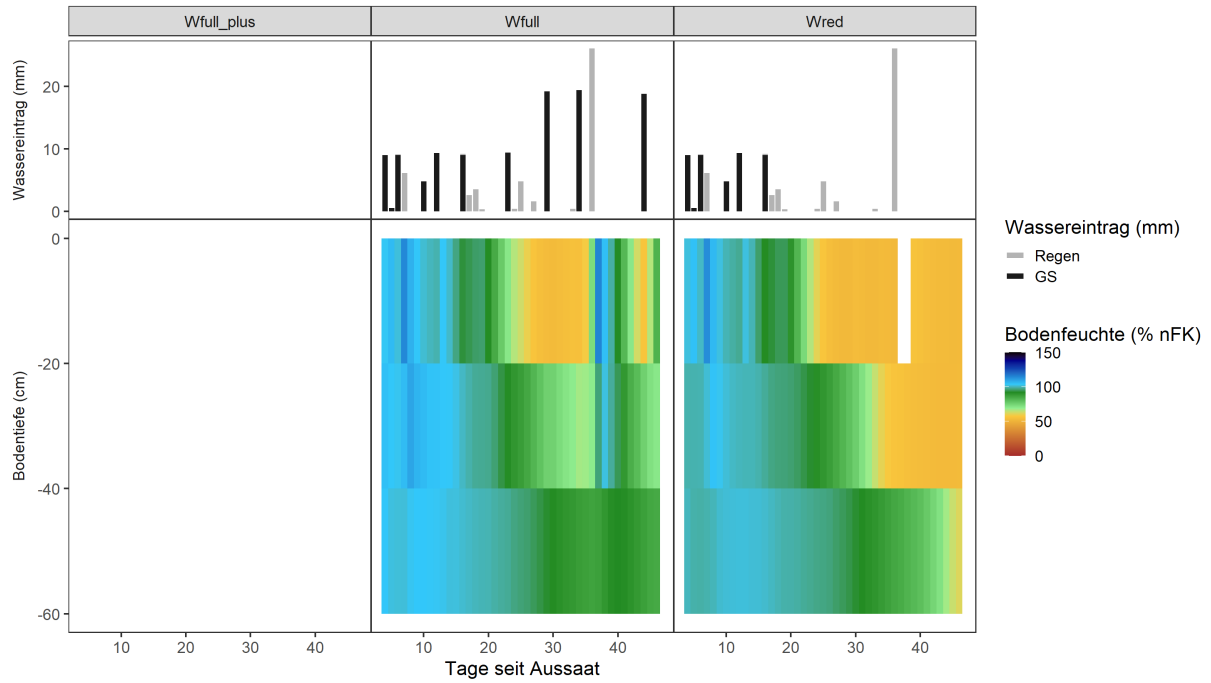
#Grafik speichern

```

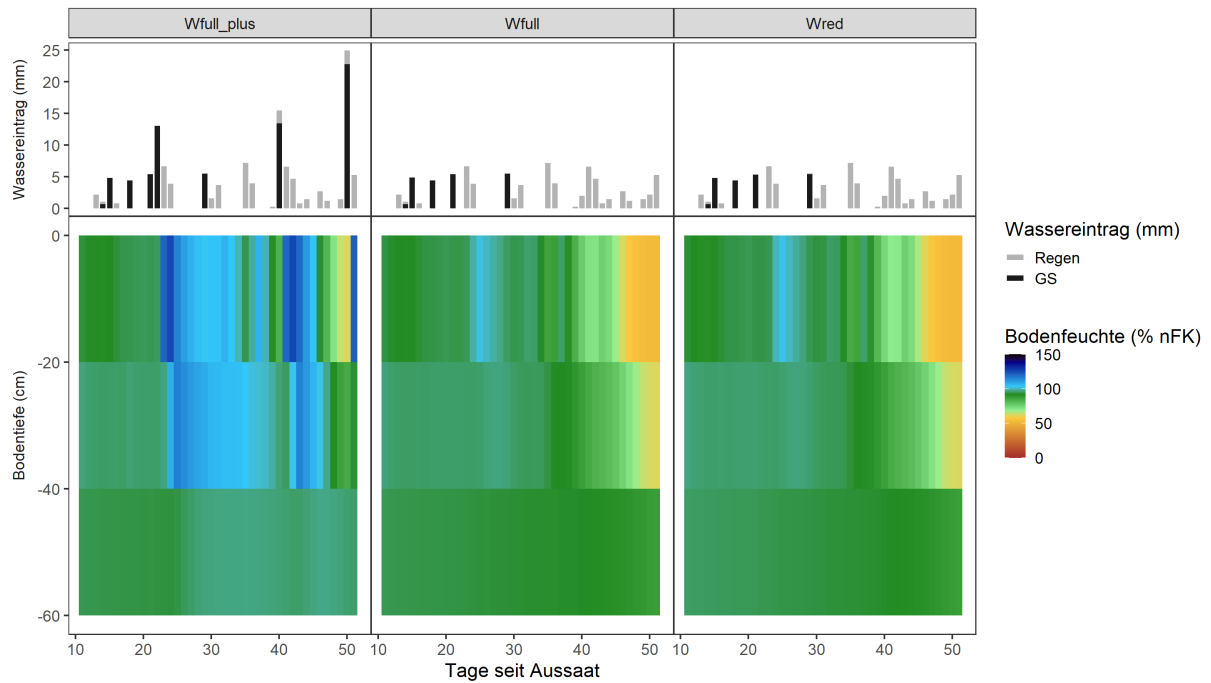
# file_list <- list(
# #   #file1 <- #keine Tensiometer-Daten fuer Satz 1
# #   file2 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2020_Satz2.png",
# #   file3 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2021_Satz1.png",
# #   file4 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2021_Satz2.png",
# #   file5 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2021_Satz3.png",
# #   file6 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2022_Satz1.png",
# #   file7 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2022_Satz2.png",
# #   file8 = "../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_2022_Satz3.png")
#
# purrr::map2(file_list, list(#p6, p7,
#                             p8),
#             ~ggsave(filename = .x, plot = .y, device = "png", width = 10, height = 6, dpi = 300)
# )

```

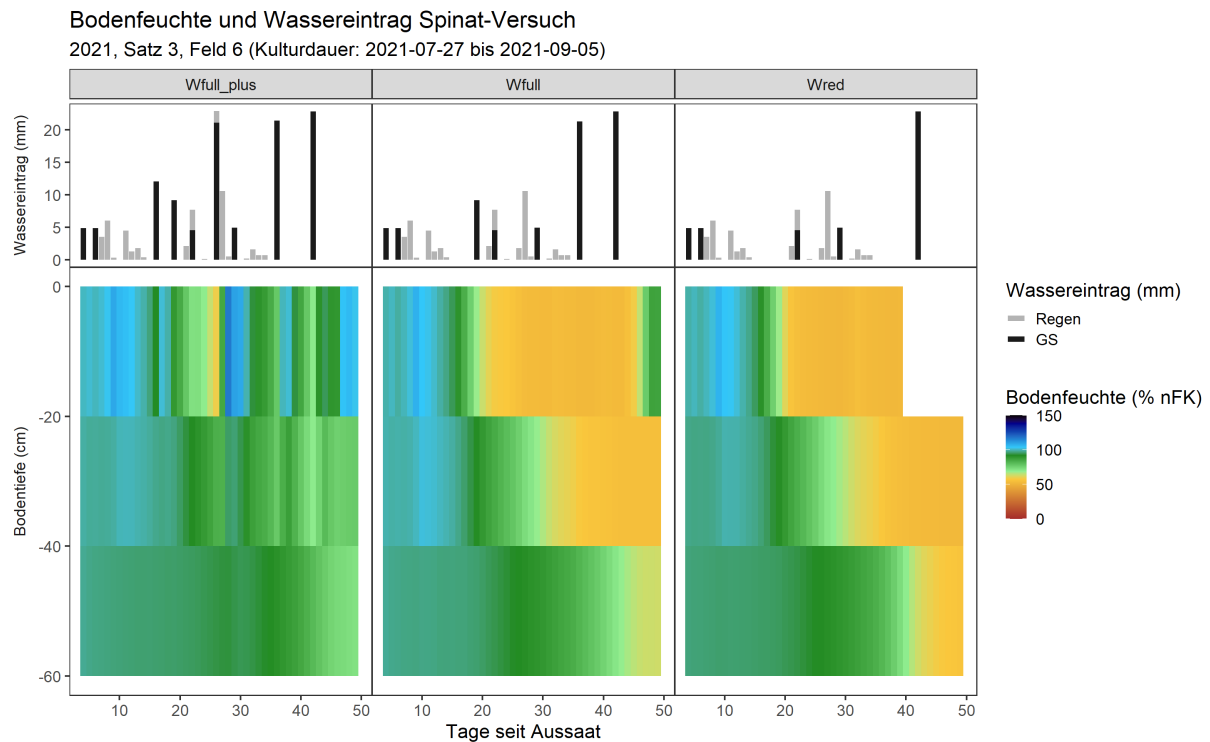
Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch 2020, Satz 2, Feld 4a (*Paper) (Kulturdauer: 2020-07-27 bis 2020-09-17)



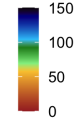
Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch 2021, Satz 1, Feld 6 (Kulturdauer: 2021-04-06 bis 2021-05-31)



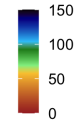
2021, Satz 2, Feld 4b (Kulturdauer: 2021-06-14 bis 2021-08-01)



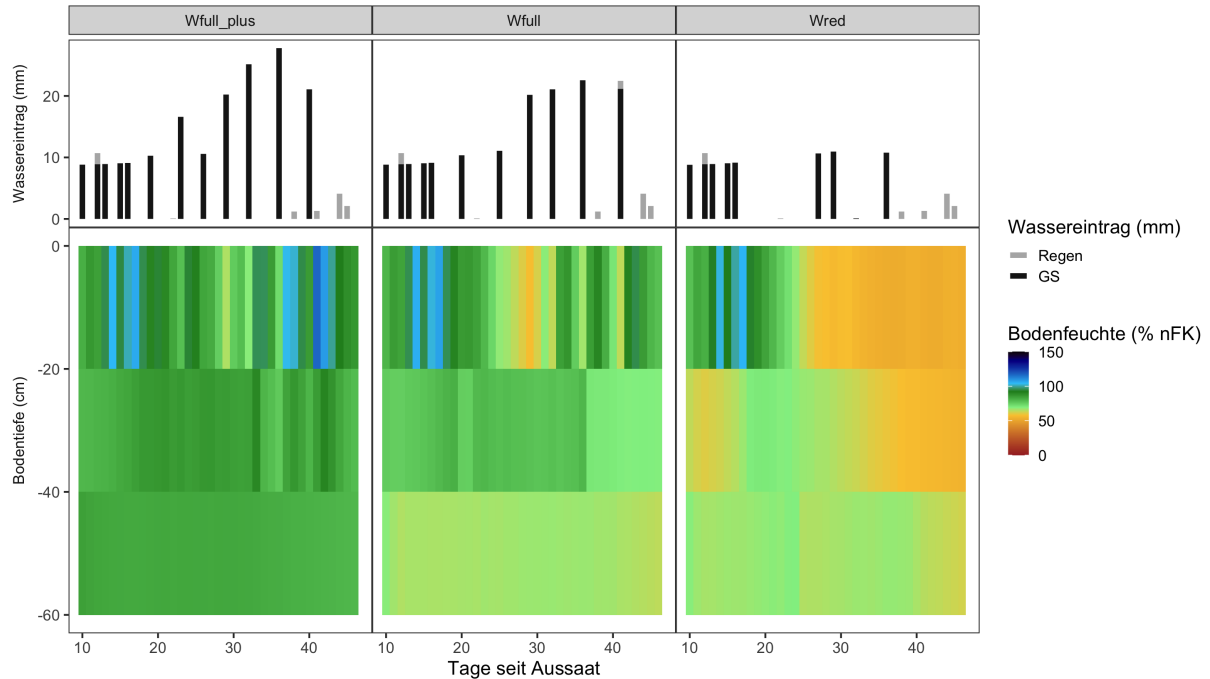
2022, Satz 1, Feld 4a (Kulturdauer: 2022-04-18 bis 2022-06-05)



2023, Satz 2, Feld 4b (Kulturdauer: 2022-06-14 bis 2022-07-27)



Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch
2023, Satz 3, Feld 4a (Kulturdauer: 2022-07-25 bis 2022-09-07)



Plots pro Variante (== Vergleich der Wiederholungen):

#2020 Satz2: nur an zwei Stellen Tensiometer: keine Wiederholung.

#2021 Satz1

```
p1 <- plot_nfk(satz_nr = 3, subtitle = "2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wfull_plus'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p2 <- plot_nfk(satz_nr = 3, subtitle = "2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wfull'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p3 <- plot_nfk(satz_nr = 3, subtitle = "2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wred'",
               wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)
```

#2021 Satz2

```
p4 <- plot_nfk(satz_nr = 4, subtitle = "2021, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull_plus'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p5 <- plot_nfk(satz_nr = 4, subtitle = "2021, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p6 <- plot_nfk(satz_nr = 4, subtitle = "2021, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wred'",
               wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)
```

#2021 Satz3

```
p7 <- plot_nfk(satz_nr = 5, subtitle = "2021, Satz 3, Feld 6, Variante 'Wfull_plus'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p8 <- plot_nfk(satz_nr = 5, subtitle = "2021, Satz 3, Feld 6, Variante 'Wfull'",
               wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p9 <- plot_nfk(satz_nr = 5, subtitle = "2021, Satz 3, Feld 6, Variante 'Wred'",
               wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)
```

#2022 Satz1

```
p10 <- plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2022, Satz 1, Feld 4a, Variante 'Wfull_plus'",
```

```

      wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p11 <- plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2022, Satz 1, Feld 4a, Variante 'Wfull'",
      wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p12 <- plot_nfk(satz_nr = 6, subtitle = "2022, Satz 1, Feld 4aVariante 'Wred'",
      wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)

```

#2022 Satz2

```

p13 <- plot_nfk(satz_nr = 7, subtitle = "2022, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull_plus'",
      wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p14 <- plot_nfk(satz_nr = 7, subtitle = "2022, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull'",
      wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p15 <- plot_nfk(satz_nr = 7, subtitle = "2022, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wred'",
      wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)

```

#2022 Satz3

```

p16 <- plot_nfk(satz_nr = 8, subtitle = "2022, Satz 3, Feld 4a, Variante 'Wfull_plus'",
      wdh = TRUE, variante = "Wfull_plus", grafik = grafik)
p17 <- plot_nfk(satz_nr = 8, subtitle = "2022, Satz 3, Feld 4a, Variante 'Wfull'",
      wdh = TRUE, variante = "Wfull", grafik = grafik)
p18 <- plot_nfk(satz_nr = 8, subtitle = "2022, Satz 3, Feld 4a, Variante 'Wred'",
      wdh = TRUE, variante = "Wred", grafik = grafik)

```

#Grafiken der Wiederholung speichern

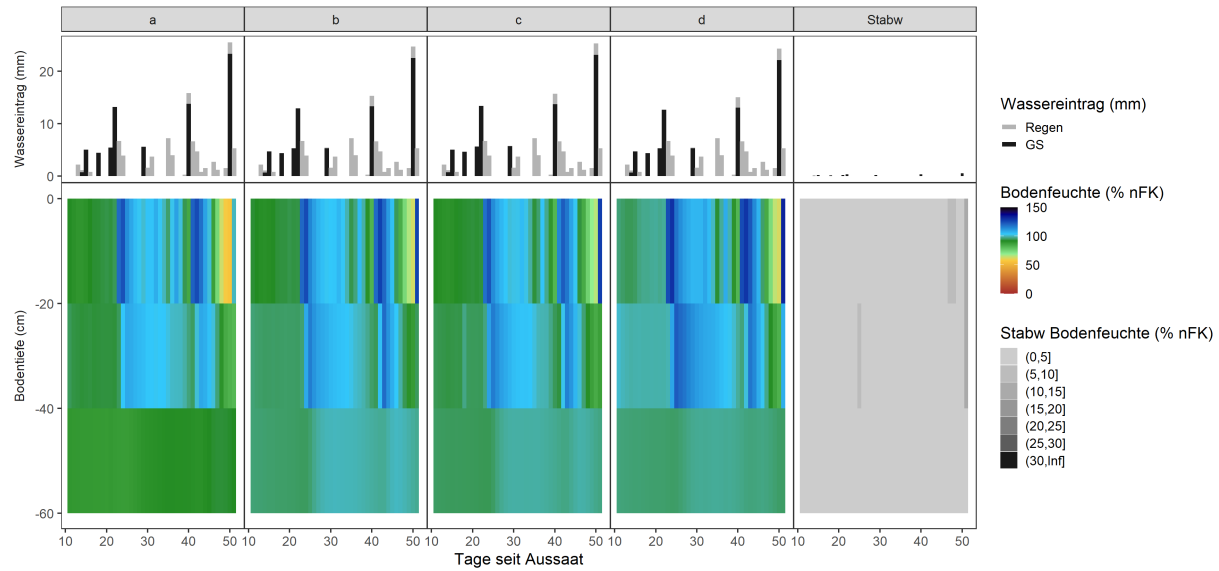
```

# Jahr <- "2022"
# file_list <- list(
#   file1 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz1_Wfull_plus.png"),
#   file2 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz1_Wfull.png"),
#   file3 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz1_Wred.png"),
#   file4 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz2_Wfull_plus.png"),
#   file5 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz2_Wfull.png"),
#   file6 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz2_Wred.png"),
#   file7 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz3_Wfull_plus.png"),
#   file8 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz3_Wfull.png"),
#   file9 = paste0("../graphics/nFK_plots/X20cm_Schritte/nFK_", Jahr, "_Satz3_Wred.png"))
#
# purrr::map2(file_list, list(p10,p11,p12,p13,p14,p15,p16,p17,p18),
#   ~ggsave(filename = .x, plot = .y, device = "png", width = 12, height = 6, dpi = 300)
# )

```

Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch

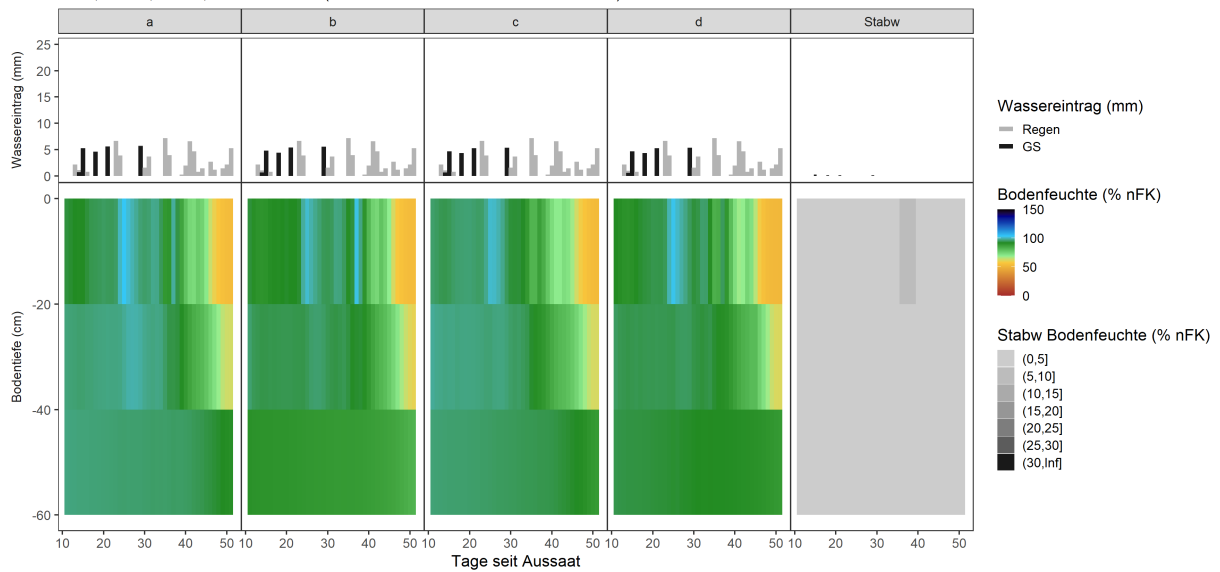
2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wfull_plus' (Kulturdauer: 2021-04-06 bis 2021-05-31)



2021, Satz1

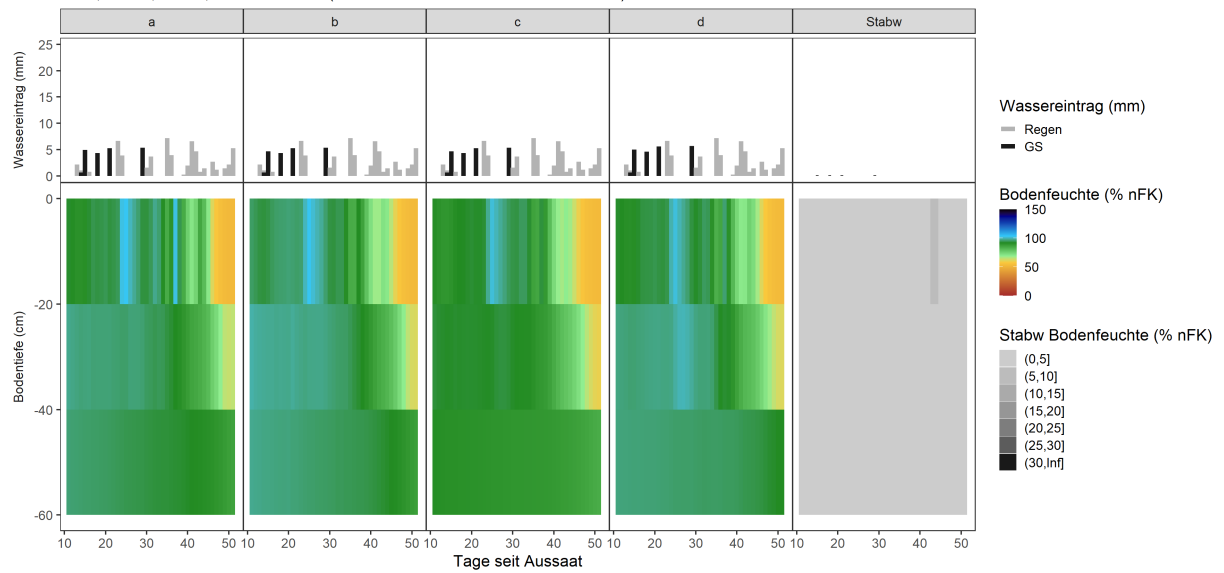
Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch

2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wfull' (Kulturdauer: 2021-04-06 bis 2021-05-31)



Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch

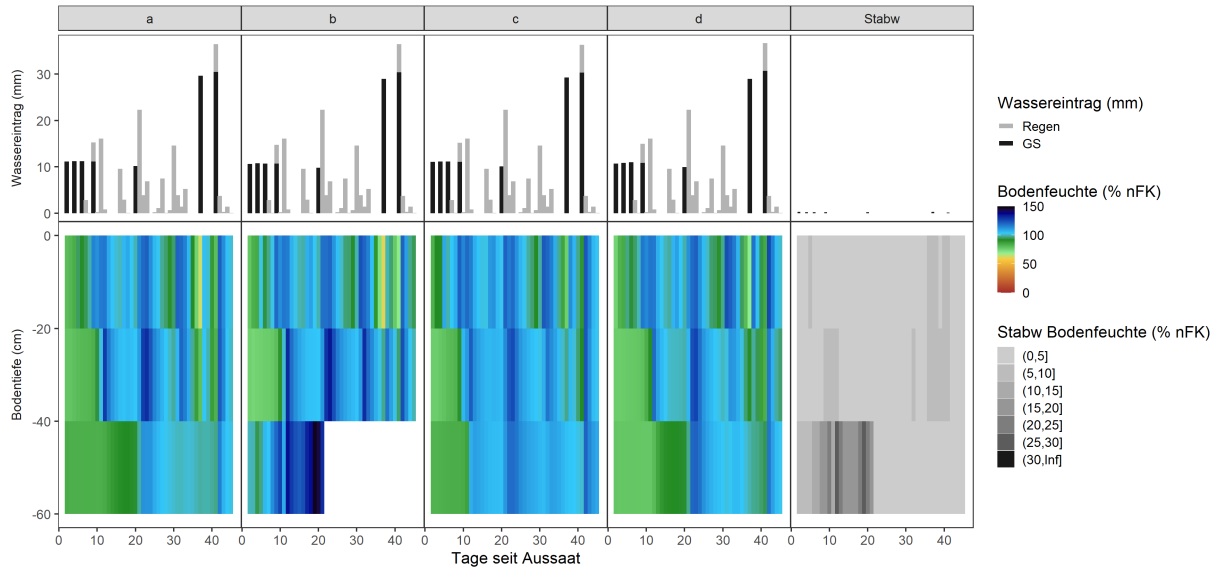
2021, Satz 1, Feld 6, Variante 'Wred' (Kulturdauer: 2021-04-06 bis 2021-05-31)



2021, Satz 2

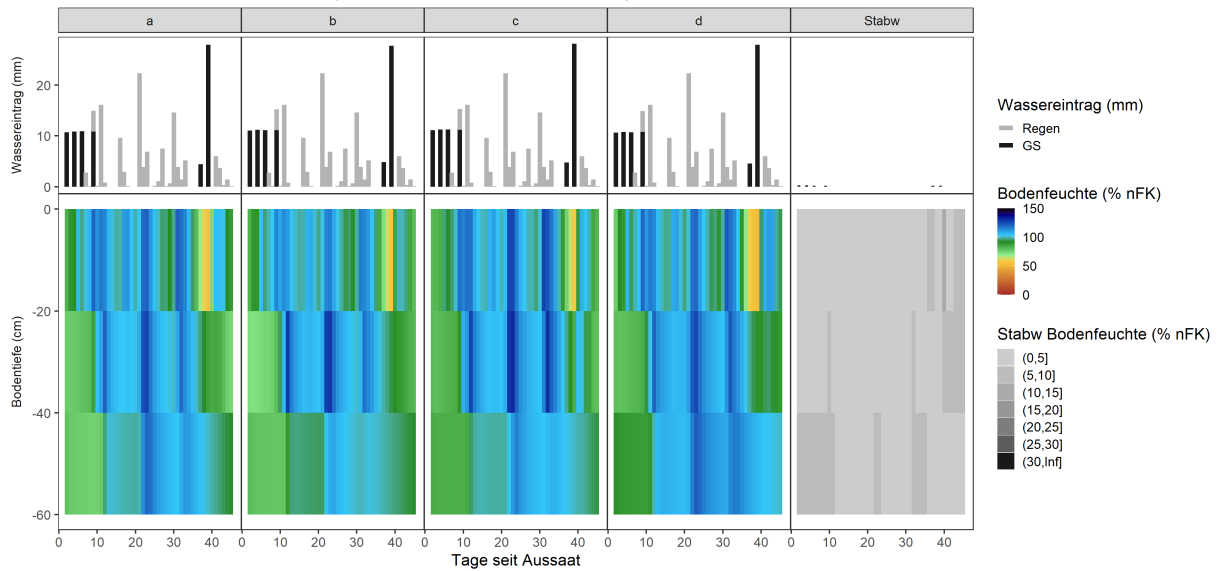
Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch

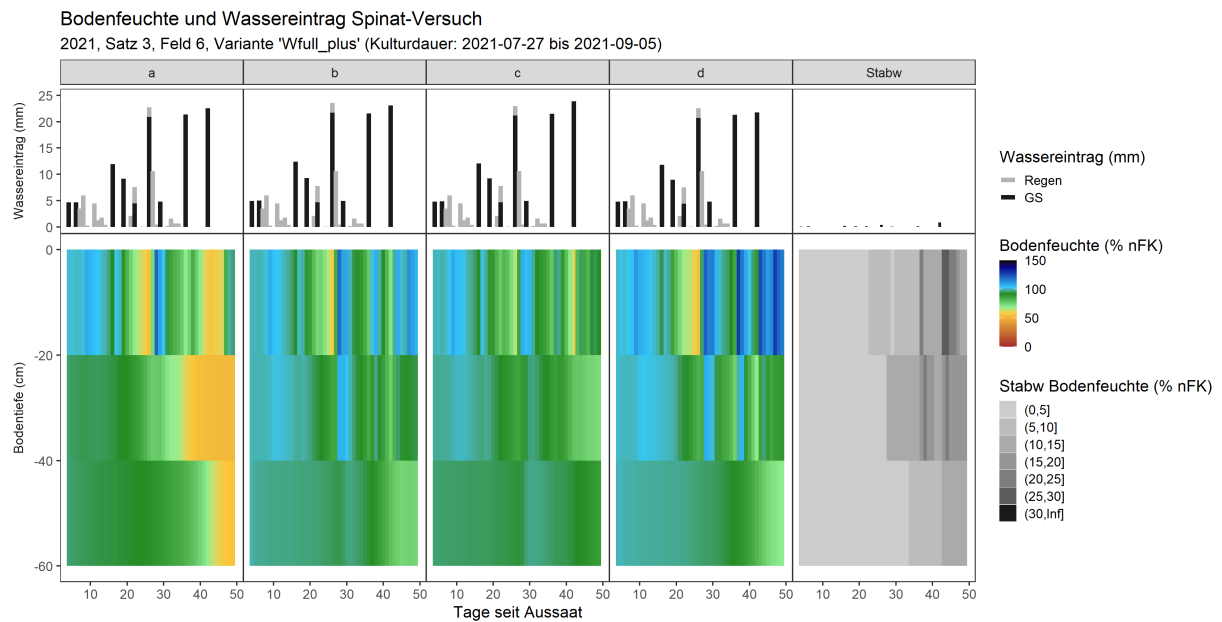
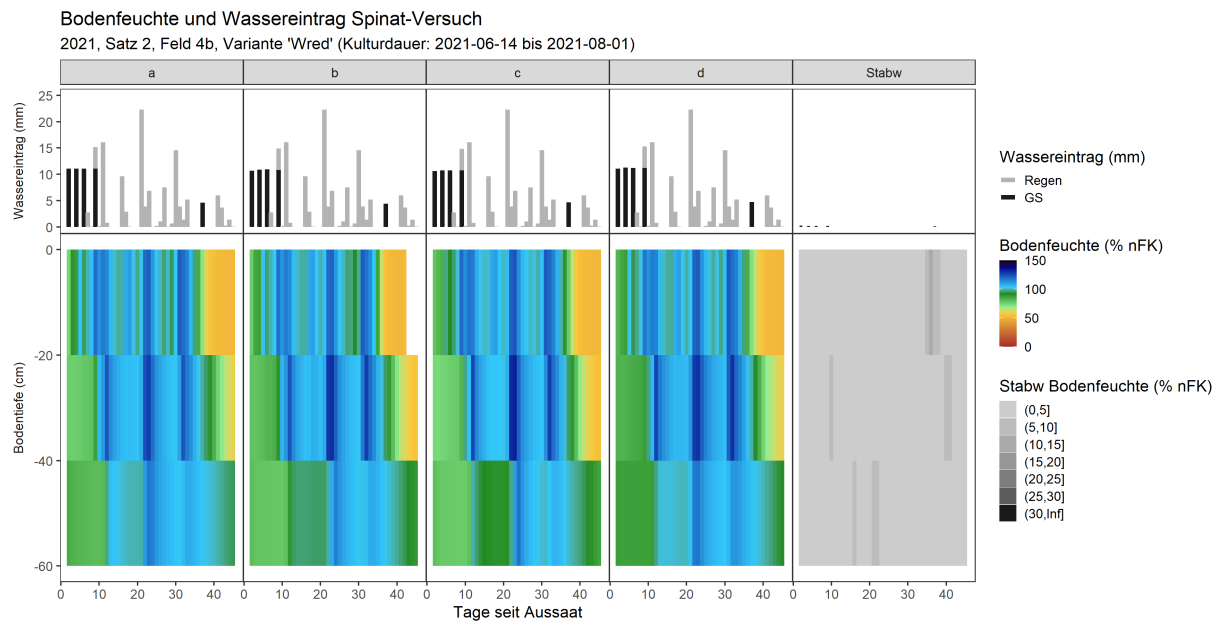
2021, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull_plus' (Kulturdauer: 2021-06-14 bis 2021-08-01)



Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch

2021, Satz 2, Feld 4b, Variante 'Wfull' (Kulturdauer: 2021-06-14 bis 2021-08-01)





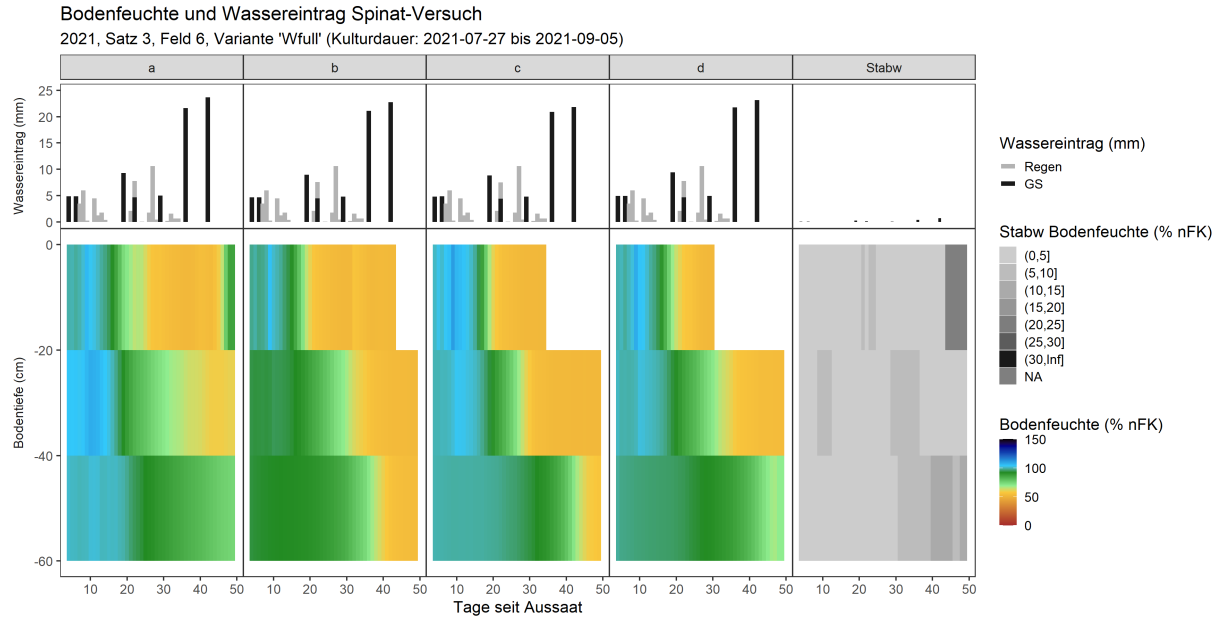
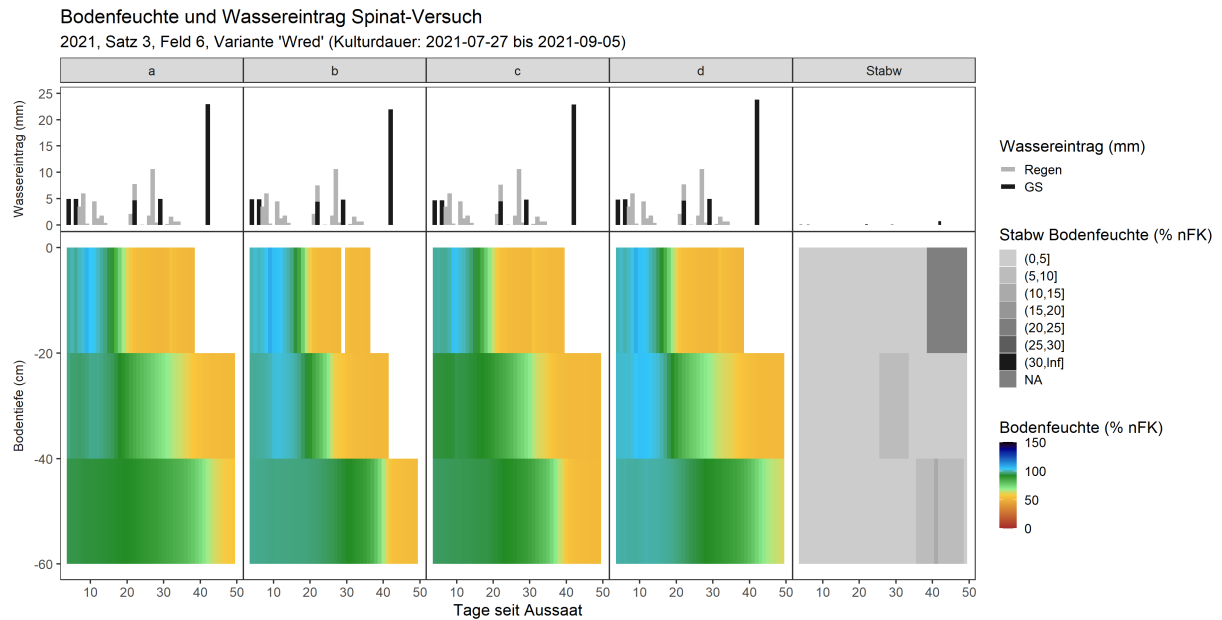
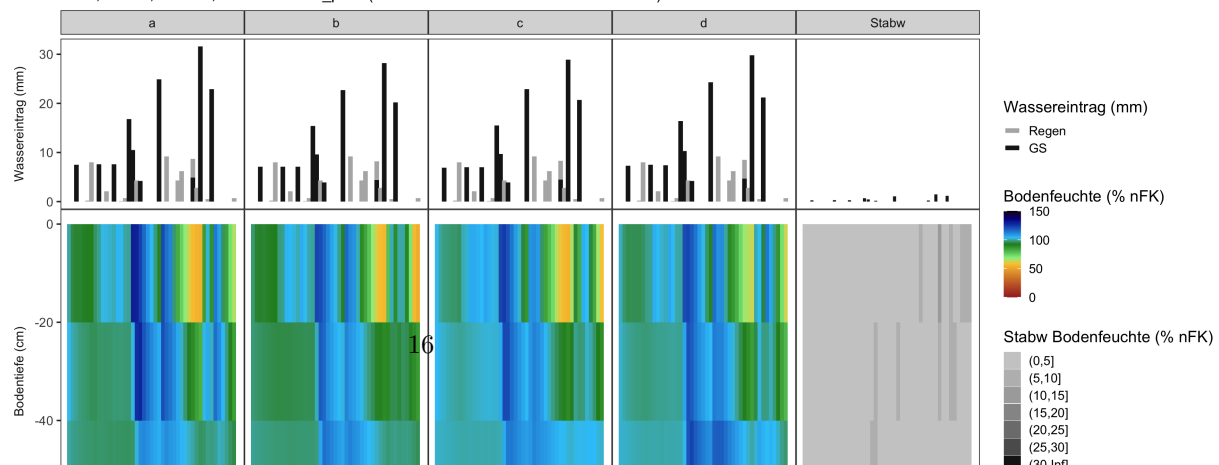


Figure 3: aaa

2021, Satz 3



Bodenfeuchte und Wassereintrag Spinat-Versuch
 2022, Satz 1, Feld 4a, Variante 'Wfull_plus' (Kulturdauer: 2022-04-18 bis 2022-06-05)



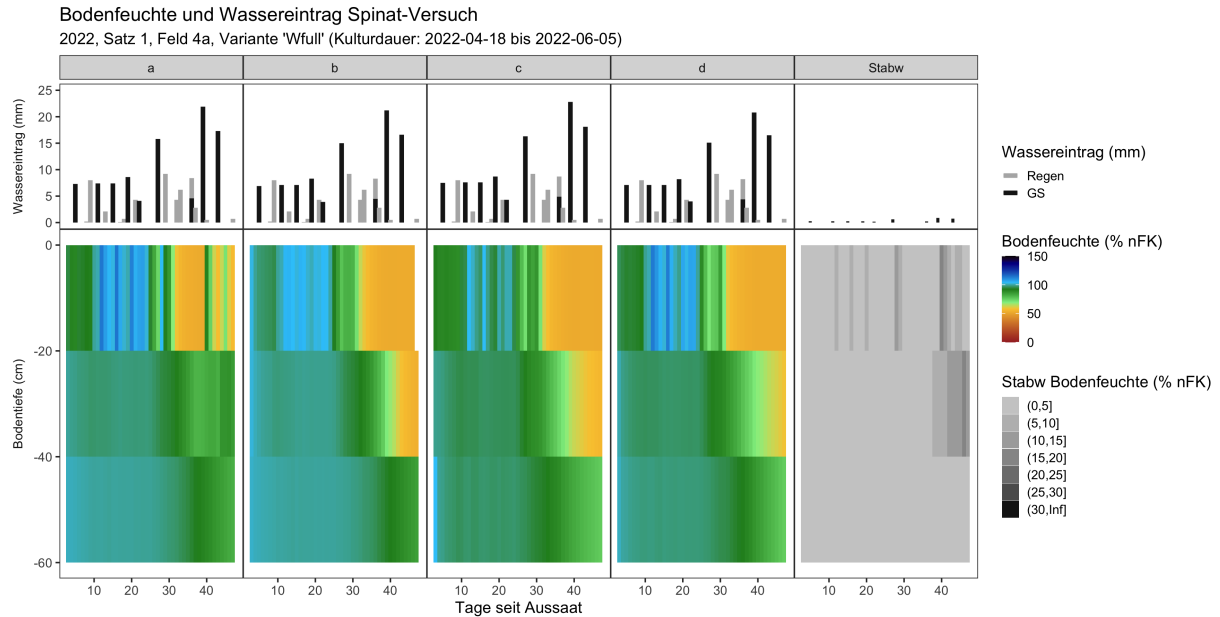


Figure 4: aaa

2022, Satz2

2022, Satz3

2021, Wfull_plus, Wiederholung b, Bodentiefe: 40-60cm: Dies scheinen Fehlmessungen zu sein. Dafür spricht die hohe Stabw, sowie der Ausfall des Messgerätes nach Bodenfeuchtr-Werten < 140% nFK (maximale Werte aller Daten). Für eine weiter-Verwendung in ANNi wird diese Wiederholung aus dem Datensatz entfernt.

#Unplausible Tensiometer-Daten entfernen:

```
tensio <- tensio %>%
  filter(satz_id != 4 | wiederholung != "b" | variante_H2O != "Wfull_plus")
```

#nFK-Tabelle speichern

```
# file1 <- "../data/derived_data/nfK_2020_2022_20220805.csv"
# data.table::fwrite(x = tensio, file = file1, sep = ";", dec = ".")
```

#Bewässerung-Tabelle speichern

```
# file1 <- "../data/derived_data/bewaesserung_2020_2022_20220805.csv"
# data.table::fwrite(x = bewaesserung, file = file1, sep = ";", dec = ".")
```

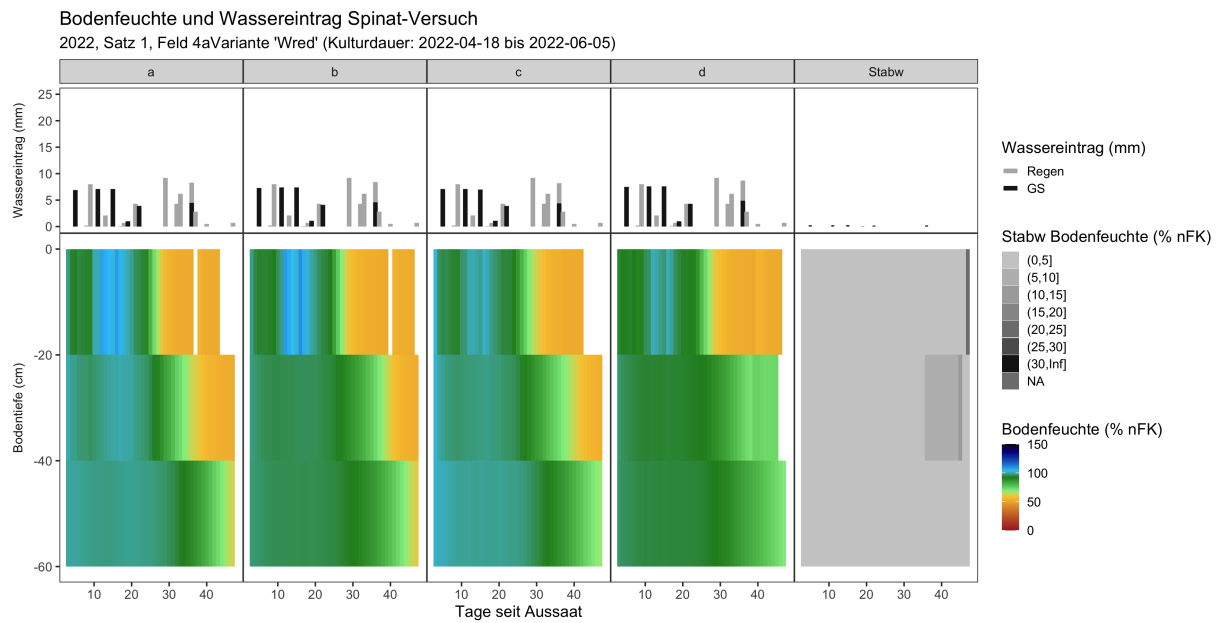


Figure 5: aaa

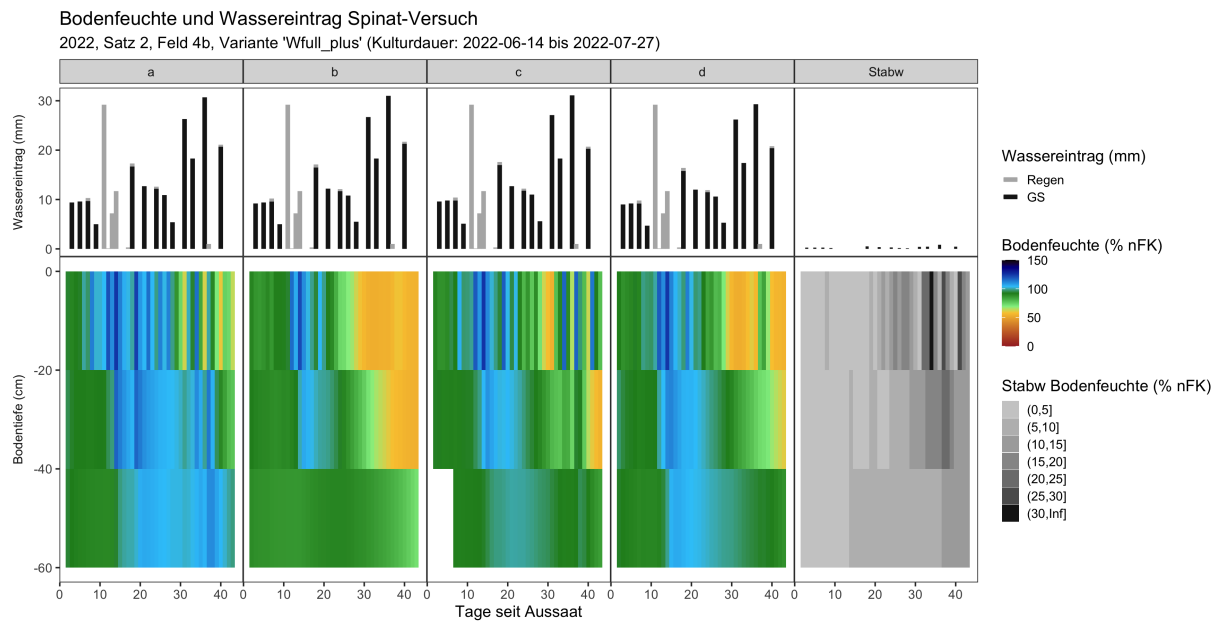


Figure 6: aaa

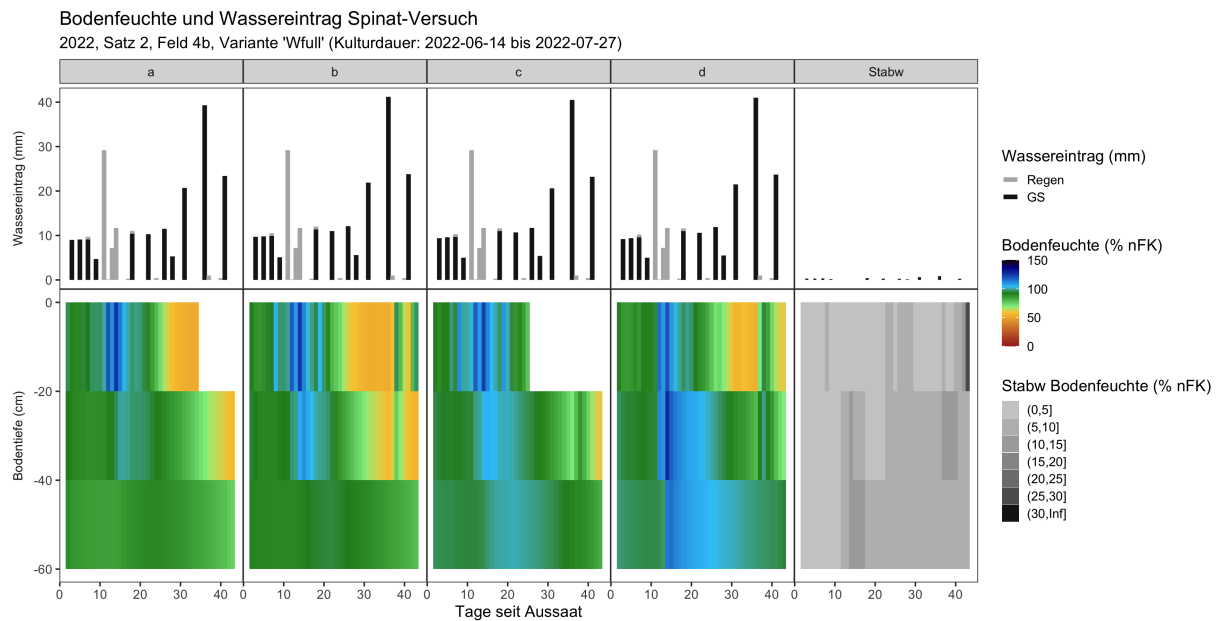


Figure 7: aaa

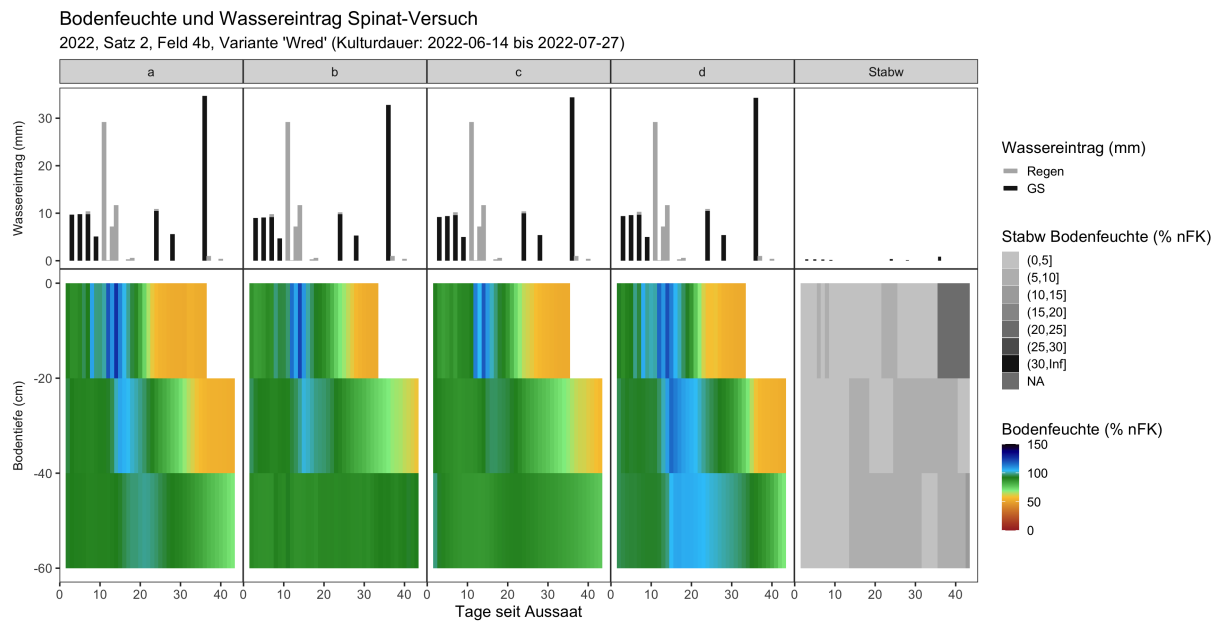


Figure 8: aaa

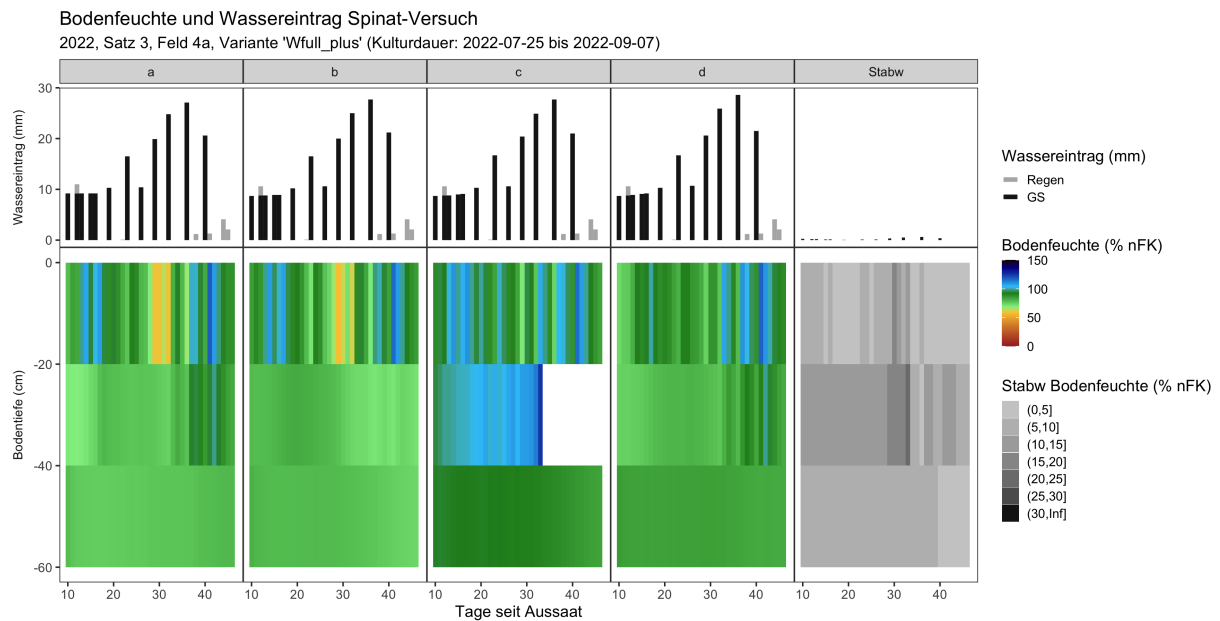


Figure 9: aaa

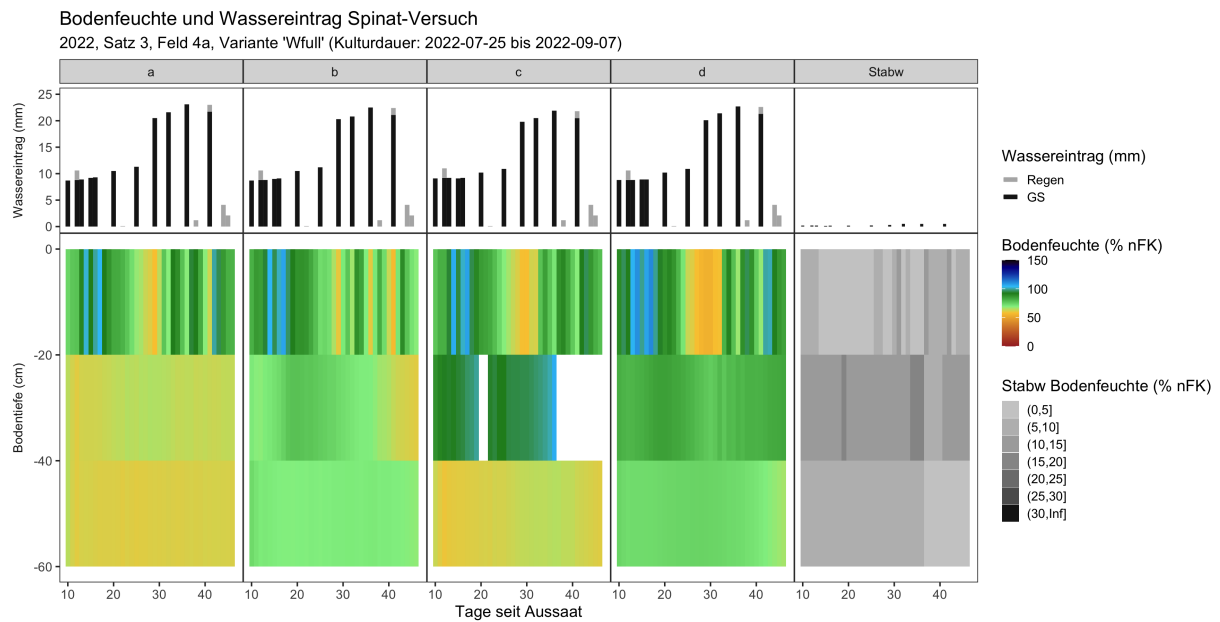


Figure 10: aaa

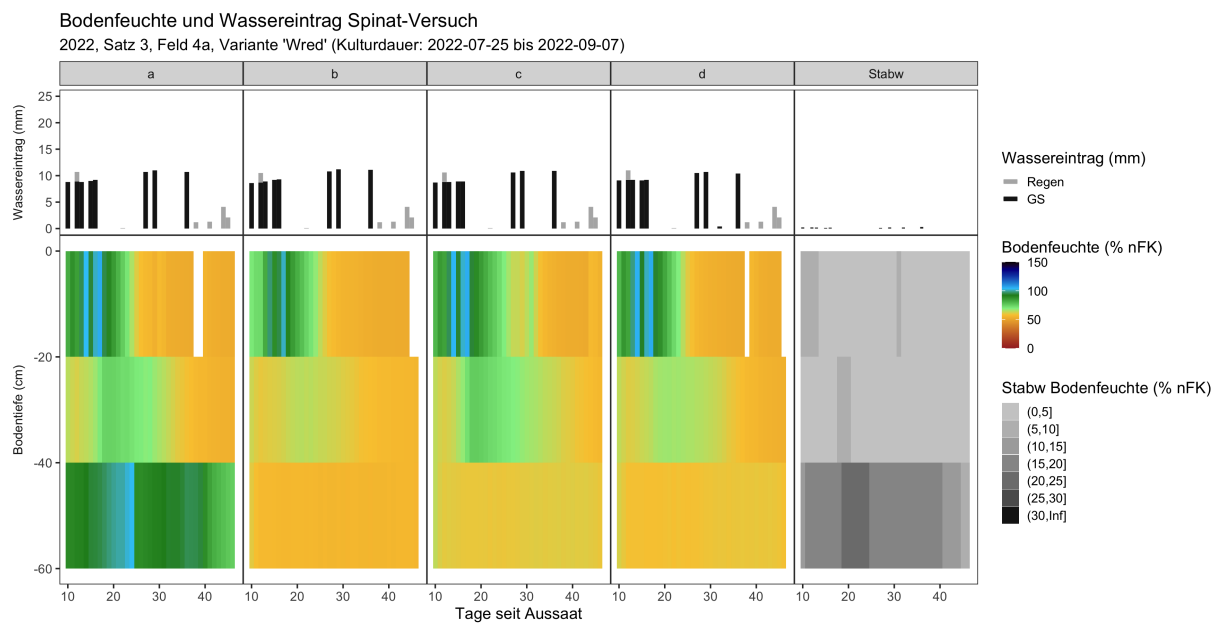


Figure 11: aaa