



LfL

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft

35 Jahre Boden-Dauerbeobachtung landwirtschaftlich genutzter Flächen in Bayern

**Band 1: Standorte, Methoden,
Bewirtschaftung**



Schriftenreihe

Nummer 02

2022

ISSN 1611-4159

Impressum

Herausgeber: Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL)
Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan
Internet: www.LfL.bayern.de

Redaktion: Institut für Ökologischen Landbau, Bodenkultur und Ressourcenschutz
Lange Point 12, 85354 Freising-Weihenstephan
E-Mail: Agrarökologie@LfL.bayern.de
Telefon: 08161 8640-3640

1. Auflage: Juli 2022

Druck: Erscheint als Online-Ausgabe zum Download

© LfL, alle Rechte beim Herausgeber



35 Jahre Boden-Dauerbeobachtung
Band 1: Standorte, Methoden, Bewirt-
schaftung

Melanie Treisch, Johannes Burmeister

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1	Einleitung 17
2	Einrichtung und Entwicklung der BDF in Bayern 19
2.1	Standortwahl..... 19
2.2	Einteilung der BDF nach langjähriger Nutzung..... 19
3	Untersuchungsumfang und Probenahmemethoden..... 21
3.1	Schlagkarteien 21
3.2	Bodenprobenahmen 1985-2018 23
3.2.1	Parameterumfang Boden 25
3.2.1.1	Parameterumfang Bodenphysik 25
3.2.1.2	Parameterumfang Anorganische Stoffe..... 26
3.2.1.3	Parameterumfang Organische Schadstoffe 28
3.2.1.4	Parameterumfang Humus 30
3.2.2	Probenahmemethoden Boden..... 30
3.2.2.1	Einrichtung der Parzellen 30
3.2.2.2	Probenahmeschema 31
3.2.3	Bewertung der Probenahmemethode und Ausblick 34
3.3	Regenwürmer 35
3.4	Wirtschaftsdünger 36
3.5	Immissionen aus der Luft 38
3.6	Vegetation 39
3.7	Weitere Untersuchungen auf BDF 40
4	Auswertung und statistische Methoden 42
4.1	Einleitung 42
4.2	Statistische Kennwerte 42
4.3	Beschreibung der Bewirtschaftung im Beobachtungszeitraum 42
4.4	Ermittlung der bayernweiten Entwicklung 44
4.5	Repräsentativität der Stichprobe 46
4.6	Stichprobenumfang 47
4.7	Explorative Ursachenforschung 48
4.8	Dimensionsreduktion bei Standortfaktoren..... 50
4.9	Übersicht über ermittelte Standort- und Bewirtschaftungsmerkmale der BDF. 54
5	Standortbeschreibung und Repräsentativität für Bayern..... 56
5.1	Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern..... 56

5.2	Geologie	59
5.3	Boden	63
5.3.1	Bodentypen (ÜBK 25)	63
5.3.2	Bodenschätzung	67
5.3.2.1	Bodenart und Zustandsstufe	67
5.3.2.2	Bodenwertzahlen	71
5.3.2.3	Kulturart nach Bodenschätzung	72
5.4	Klima	73
5.4.1	Topografische Klimafaktoren	73
5.4.1.1	Geografische Breite	73
5.4.1.2	Höhe über dem Meeresspiegel	75
5.4.1.3	Hangneigung und Exposition	76
5.4.2	Klimaelemente	77
5.4.2.1	Langjährige Jahresdurchschnittstemperaturen (1985 - 2018)	77
5.4.2.2	Langjährige Jahresniederschlagssummen (1985 - 2018)	79
5.4.3	Klimatrend Bayern	81
5.4.3.1	Trend Jahresdurchschnittstemperaturen (1985-2018)	81
5.4.3.2	Trend Jahresniederschlagssummen (1985-2018)	83
6	Betriebsdaten und Bewirtschaftung	86
6.1	Betriebsbezogene Beschreibung	86
6.1.1	Entwicklung der Bewirtschaftungssysteme (öko/konventionell)	87
6.1.2	Entwicklung Tierhaltung	87
6.2	Beschreibung der schlagbezogenen Bewirtschaftungsparameter bei Ackernutzung	89
6.2.1	Überblick über die angebauten Ackerkulturen	89
6.2.2	Beschreibung und Entwicklung der angebauten Ackerkulturen	91
6.2.2.1	Mais	94
6.2.2.2	Getreide	95
6.2.2.3	Zuckerrüben, Kartoffeln, Sonstige Hackfrüchte	97
6.2.2.4	Raps, sonstige Ölfrüchte	98
6.2.2.5	Körnerleguminosen	98
6.2.2.6	Kleegrasgemenge	99
6.2.2.7	Stilllegung	100
6.2.3	Beschreibung und Entwicklung der Bewirtschaftung bei Ackernutzung	100
6.2.3.1	Zwischenfruchtanbau	100

6.2.3.2	Wendende Bodenbearbeitung	102
6.2.3.3	Einarbeitung Ernterückstände / Stroh	103
6.2.3.4	Organische Düngung	104
6.2.4	Korrelation der Bewirtschaftungsparameter der Acker-BDF und Clustering..	108
6.3	Beschreibung der schlagbezogenen Bewirtschaftungsparameter bei Grünlandnutzung	110
6.3.1	Nutzungstypen der Grünland-BDF und des Grünlands in Bayern.....	110
6.3.2	Entwicklung der Nutzung (Mahd und Beweidung) bei Grünland	112
6.3.2.1	Schnitthäufigkeit	113
6.3.2.2	Beweidung.....	115
6.3.3	Entwicklung organische und mineralische Düngung.....	116
6.3.4	Korrelation der Bewirtschaftungsvariablen der Grünland-BDF	118
6.4	Kurze Beschreibung der Bewirtschaftung und Standorte der BDF mit Sonderkulturen	119
6.4.1	Hopfen.....	119
6.4.2	Wein	120
6.4.3	Obst	120
7	Zusammenfassung Repräsentativität und Stichprobengröße.....	122
8	Übersicht Kooperationen und Projekte im Rahmen von BDF	124
8.1	Kooperationen	124
8.2	Veröffentlichungen.....	126
8.3	Übersichtskarte	130
Dank	131
Geodaten und Datenbanken	131
Literaturverzeichnis	132

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abb. 1: Jährliche Schlagkartei für Acker-BDF (Abfrageumfang ab 2012)	22
Abb. 2: Jährliche Schlagkartei für Grünland-BDF (Abfrageumfang ab 2012).....	22
Abb. 3: Verteilung der Einzeleinstiche der Boden-Mischproben zu unterschiedlichen Beprobungs-Terminen (schematische Darstellung, dargestellte Anzahl der Punkte entspricht nicht den tatsächlich durchgeführten Einzeleinstichen)	31
Abb. 4: Boxplots der Variationskoeffizienten der Probenahmen in den Beprobungsserien. links für organische Kohlenstoffgehalte, rechts für Zink-Gehalte	34
Abb. 5: Beispiel für die deutliche Änderung einer dichotomen Variable; links BDF 28 „Ausbringung org. Düngung“, rechts BDF 95 „Stroh auf der BDF verblieben“.	43
Abb. 6: Entwicklung zufälliger Messwerte (normalverteilt, Mittelwert = 10, Standardabweichung =2) für sechs Probenahmeserien als lineare Trends für 80 BDF; Unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.	46
Abb. 7: Entwicklung zufälliger Messwerte (normalverteilt, Mittelwert = 10, Standardabweichung =2) bei zusätzlicher jährlicher Änderung von im Mittel 0,02 pro Jahr (Standardabweichung 0,02) für sechs Probenahmeserien als lineare Trends für 80 BDF; Unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.	46
Abb. 8: Poweranalyse für die Stichprobe der Acker- und Grünland-BDF	48
Abb. 9: Hauptkomponenten von Klimacharakteristika (Meereshöhe m ü. NN, Niederschlag NS und Temperatur temp insgesamt und je Jahreszeit). Balken auf der Diagonalen der Matrix entsprechen den Eigenvektoren der Eingangsvariablen; Farben nach drei Klassen der Meereshöhe	51
Abb. 10: Hauptkomponenten der Bodeneigenschaften (Sand-, Schluff-, Tongehalte, Ackerzahl, Bodentypen (Gruppen mit mehr als 5 Acker-BDF, Ackerzahl). Balken auf der Diagonalen der Matrix entsprechen den Eigenvektoren der Eingangsvariablen, Farben nach Hauptbodenart.....	52
Abb. 11: Verteilung der ermittelten Hauptkomponenten für Klima und Bodeneigenschaften auf den bayerischen Acker- BDF (Farbskala von rot - negativ über grau nach blau - positiv).....	53
Abb. 12: BDF (Stand 2018) in den (Haupt-)Landschaftseinheiten der Standortkundlichen Landschaftsgliederung nach Wittmann, 1991 (vergl. Tab. 21), (Geobasisdaten: NUTS 2013)	56
Abb. 13: Verteilung der Ackerflächen in den Hauptlandschaftseinheiten 1-15 (vergl. Tab. 21) für die BDF im Vergleich zur gesamten Ackerfläche von Bayern (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018)	57
Abb. 14: Verteilung der als Grünland genutzten Flächen in den Hauptlandschaftseinheiten 1-15 (vergl. Tab. 22) für die BDF im Vergleich zur gesamten Grünlandfläche von Bayern	58
Abb. 15: Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a) mit der Lage der aktuellen BDF (Stand 2018; Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodatenonline.bayern.de).....	60
Abb. 16: Verteilung der Ackerstandorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern über die geologischen Haupteinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a; Doppler et al., 2004), InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	61

Abb. 17: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach geologischen Großbaueinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a, InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	62
Abb. 18: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche in Bayern nach den geologischen Großbaueinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a, InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	62
Abb. 19: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche in Bayern nach geologischen Haupteinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a; Doppler et al., 2004), InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	63
Abb. 20: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach bodensystematischen Klassen der KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	65
Abb. 21: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der Grünlandfläche von ganz Bayern nach den Bodensystematischen Klassen der KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	67
Abb. 22: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach Bodenarten der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	68
Abb. 23: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach Bodenartengruppe und Zustandsstufe der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	68
Abb. 24 :Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche von Bayern nach Bodenartengruppen der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	70
Abb. 25: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche von Bayern nach Bodenartengruppen und Zustandsstufen der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	70
Abb. 26: Verteilung der Ackerzahlen der Bodenschätzung für die Acker-BDF und der gesamten Ackerfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	72
Abb. 27: Verteilung der Grünlandzahlen der Bodenschätzung für die Grünland-BDF und der gesamten Grünlandfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	72
Abb. 28: Höhenstufen in Bayern und Lage der BDF im Gradnetz (Stand 2018; Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodatenonline.bayern.de)	74
Abb. 29: Lage der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern zwischen dem 47. und 51. Grad nördlicher Breite (InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	74
Abb. 30: Lage der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern zwischen dem 47. und 51. Grad nördlicher Breite (InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	74
Abb. 31: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach Höhenstufen (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	75
Abb. 32: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach Höhenstufen (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	75
Abb. 33: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach Exposition und Hangneigung (%), (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	76

Abb. 34: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach Exposition und Hangneigung (%), (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	77
Abb. 35: Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 1985-2018 in Bayern mit BDF-Standorten (Datengrundlage: DWD, 2020a).....	78
Abb. 36: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach langjährig gemittelter Jahresdurchschnittstemperatur (1985-2018), (DWD, 2020a; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	79
Abb. 37: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach langjährig gemittelter Jahresdurchschnittstemperatur (1985-2018), (DWD, 2020a; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	79
Abb. 38: Mittlere Jahresniederschlagssumme von 1985-2018 in Bayern mit BDF-Standorten (Datengrundlage: DWD, 2020b).....	79
Abb. 39: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach langjährig gemittelten Niederschlagssummen (mm) (1985-2018); (DWD, 2020b; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	80
Abb. 40: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach langjährig gemittelten Niederschlagssummen (mm) (1985-2018); (DWD, 2020b; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	80
Abb. 41: Temperatur im Beobachtungszeitraum (1985-2018) im bayerischen Mittel und im Mittel für die BDF, unterschieden nach Acker und Grünland (DWD, 2020a); Acker-Bayern: $y=0,046x + 7,9$; $R^2=0,34$; Acker-BDF: $y=0,047x + 7,9$; $R^2=0,35$; Grünland-Bayern: $y=0,043x + 7,5$; $R^2=0,33$; Grünland-BDF: $y=0,039x + 7,0$; $R^2=0,30$	81
Abb. 42: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen als lineare Trends je Acker-BDF (1985-2018) über den Beobachtungszeitraum in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.	82
Abb. 43: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen als lineare Trends je Grünland-BDF (1985-2018) über den Beobachtungszeitraum in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.	83
Abb. 44: Jahresniederschlag (mm) im Beobachtungszeitraum im bayerischen Mittel und im Mittel für die einzelnen BDF Standorte, unterschieden nach Acker und Grünland (DWD, 2020b); Acker-Bayern: $y=-3,3x + 871$; $R^2=0,10$; Acker-BDF: $y=-3,2x + 853$; $R^2=0,35$; Grünland-Bayern: $y=-4,0x + 1126$; $R^2=0,10$; Grünland-BDF: $y=-4,0x + 1377$; $R^2=0,08$	83
Abb. 45: Entwicklung des Jahresniederschlags als lineare Trends je Acker-BDF über den Beobachtungszeitraum (1985-2018) in mm a^{-1} ; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.....	84
Abb. 46: Entwicklung des Jahresniederschlags als lineare Trends je Grünland-BDF über den Beobachtungszeitraum (1985-2018) in mm a^{-1} ; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.....	85
Abb. 47: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$ (rechts) und der Jahresniederschläge mm a^{-1} (links) für die BDF und den Zeitraum von 1985 bis 2018; ermittelt aus Rasterdaten des DWD (DWD, 2020a; DWD, 2020b; Geobasisdaten BVV, 2021; Wittmann, 1991).....	85
Abb. 48: Anteil der BDF mit ökologischer Bewirtschaftung (Acker, Grünland, Flächen mit Nutzungsänderung und Sonderkulturen, $n=117$) über den Beobachtungszeitraum im Vergleich zur bayernweiten Entwicklung an der landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF, incl. Acker, Grünland, Sonderkulturen), Quelle: 1990-2002: Angaben der Anbauverbände Demeter, Bioland, Biokreis und Naturland (LVÖ,	

	2021), ab 2003: basierend auf den Angaben der in Bayern zugelassenen und beliehenen Öko-Kontrollstellen (LfL, 2021)	87
Abb. 49:	Entwicklung der Anteile der viehhaltenden BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern im Beobachtungszeitraum; Quelle bis Abb. 51: 1987-1994: Statistische Jahrbücher Bayern (LfSD 1990- 1998): berücksichtigt sind Betriebe > 5ha LF; ab 1995: InVeKoS Auswertungsjahre 1995-2018: alle Betriebe mit Mehrfachantragstellung; Einführung Betriebsprämie 2005 führt zum Anstieg der Gesamt-Betriebszahlen, ab 2006 Auswertung nach Tiergruppen.	88
Abb. 50:	Entwicklung der Anteile rinderhaltender BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern von 2006 bis 2018;	88
Abb. 51:	Entwicklung der Anteile schweinehaltender BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern von 2006 bis 2018.	88
Abb. 52:	Durchschnittlicher Anteil angebaute Kulturarten auf den Ackerflächen in Bayern und den Acker-BDF während des Beobachtungszeitraums von 1985 bis 2018; Abkürzungen Kulturarten siehe Tab. 28; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	89
Abb. 53:	Anteile der angebaute Ackerkulturen je BDF im Beobachtungszeitraum	92
Abb. 54:	Anteile der angebaute Ackerkulturen je BDF im Beobachtungszeitraum	93
Abb. 55:	Entwicklung der Maisanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	94
Abb. 56:	Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Körnermais (KM), Silomais (SM) und Mais gesamt in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	95
Abb. 57:	Entwicklung der Getreideanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	96
Abb. 58:	Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Wintergetreide (WG), Sommergetreide (SG) und Getreide gesamt in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	96
Abb. 59:	Entwicklung der Kartoffel- und Zuckerrübenanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den BDF-Ackerstandorten und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993- 2018: InVeKoS)	97
Abb. 60:	Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Kartoffeln (KA) und Zuckerrüben (ZR) in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF.....	97
Abb. 61:	Entwicklung der Rapsanbaufläche (incl. sonstiger Ölfrüchte) im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993- 2018: InVeKoS)	98
Abb. 62:	Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Raps in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	98
Abb. 63:	Entwicklung der Körnerleguminosenanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den BDF-Ackerstandorten und den Ackerflächen in Bayern (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	99
Abb. 64:	Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Körnerleguminosen (LEG), Klee gras (KG) und stillgelegten Flächen (STILL) in der Fruchtfolge; Anteil (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	99

Abb. 65: Entwicklung der Kleegrasanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	99
Abb. 66: Entwicklung der Stilllegungsfläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS).....	100
Abb. 67: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen der Jahre mit Herbst- und Winterzwischenfrüchten (links) und Zwischenfrüchten und Winterungen im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	101
Abb. 68: Jährlicher Anteil (in %) der BDF mit Zwischenfruchtanbau, der BDF mit Winterzwischenfrucht und Anteil der über Winter begrünter BDF (Winterzwischenfrucht + Winterung)- Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.....	101
Abb. 69: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit und ohne Pflugeinsatz je BDF im Zeitraum von 1985-2018.....	102
Abb. 70: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit wendender Bodenbearbeitung (gepflügte BDF, braun) und pfluglos bewirtschafteter BDF (orange) – Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.....	102
Abb. 71: Entwicklung der Bodenbearbeitung (mit und ohne Pflug) für jede einzelne der 80 Acker BDF, sortiert nach dem Anteil pflugloser Bodenbearbeitung über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018.....	103
Abb. 72: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit Einarbeitung von Stroh aus Ernterückständen von Getreide, Raps und Körnermais; durchschnittliche Einarbeitungshäufigkeit im Zeitraum von 1985-2018 je BDF.....	104
Abb. 73: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit abgefahretem Getreidestroh (hellgrün), eingearbeitetem Getreidestroh (dunkelgrün) und GPS-Nutzung (blau), jeweils bezogen auf die BDFs mit Getreideanbau – Entwicklung für den Beobachtungszeitraum 1985-2018.....	104
Abb. 74: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit organischer Düngung; durchschnittliche Ausbringungshäufigkeit im Zeitraum von 1985-2018 je BDF	105
Abb. 75: Entwicklung der organischen Düngung für jede einzelne der 80 Acker- BDF über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018, sortiert nach Anzahl Jahre mit organischer Düngung	105
Abb. 76: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit organischer Düngung gesamt (braun), Ausbringung von Gülle (orange) und Ausbringung von Biogasgärresten (olivgrün), Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.	106
Abb. 77: Anteile (%) der Bewirtschaftungsjahre für die Bewirtschaftungsparameter je Acker-BDF im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018	107
Abb. 78: Korrelationsmatrix der Bewirtschaftungsvariablen auf Acker- BDF (nach Kendalls Tau, für skalierte Werte, geclustert nach Ward)	109
Abb. 79: Heatmap der Bewirtschaftungsvariablen (blaue Farben stehen für verhältnismäßig hohe Werte, rote Farben für verhältnismäßig niedrige, clustering nach Ward für skalierte Werte).	110
Abb. 80: Entwicklung der Anteile der häufigsten Grünland-Nutzungstypen an der gesamten Grünlandfläche in Bayern von 1993 bis 2018 (InVeKoS).....	111
Abb. 81: Entwicklung der Fläche (in 1000 ha) der häufigsten Grünland-Nutzungstypen und der gesamten Dauergrünlandfläche in Bayern von 1993 bis 2018 (InVeKoS) 111	

Abb. 82: Verteilung der Grünlandflächen der BDF und der Grünlandflächen in ganz Bayern auf die Nutzungstypen Wiese, Mähweide, Weide und anerkannte Almen und Alpen im Jahr 2018 (InVeKoS).	112
Abb. 83: Verteilung der Grünlandflächen der Grünland-BDF und der Grünlandflächen in Bayern in den Hauptlandschaftseinheiten 14 und 15 nach Wittmann (1991) auf die Nutzungstypen Wiese, Mähweide, Weide und anerkannte Almen und Alpen im Jahr 2018 (InVeKoS).	112
Abb. 84: Jährliche Nutzungsformen der einzelnen Grünland BDF (Zeilen), sortiert nach Anteil Jahre mit Beweidung	112
Abb. 85: Schnittnutzungen pro Jahr auf den einzelnen Grünland BDF, sortiert nach mittlerer Schnitthäufigkeit.....	113
Abb. 86: Links: Durchschnittliche Anzahl von Schnitten je Jahr auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum; Rechts: BDF mit Änderungen der Schnitthäufigkeit im Beobachtungszeitraum (deutliche Änderungen bei einem Bestimmtheitsmaß (R^2) des Trends von $>0,3$)	114
Abb. 87: Durchschnittliche Anzahl von Grünland-Nutzungen je Jahr über alle BDF: bei den Schnitten mittlere Schnitthäufigkeit, bei Schnitte + Beweidung wurden Angaben zur Beweidungshäufigkeit mitberücksichtigt.	114
Abb. 88: Anteil der Jahre mit Beweidung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum	115
Abb. 89: Jährliche Anteile der Grünland-BDF mit Beweidung (blau), bzw. mit Mahd (grün) im Beobachtungszeitraum (unabhängig von der Intensität/Häufigkeit der Nutzungen je Jahr).	116
Abb. 90: Jährliche Anteile der Grünland-BDF mit organischer (orange) bzw. mineralischer Düngung (dunkelrot) im Beobachtungszeitraum.	116
Abb. 91: Anteil der Jahre mit organischer Düngung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum (links) und Anteil der Jahre mit mineralischer Düngung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum (rechts).....	117
Abb. 92: Organische Düngung auf den einzelnen Grünland BDF, sortiert nach Anteil Jahre mit organischer Düngung insgesamt	117
Abb. 93: Mineralische Düngung auf den einzelnen Grünland-BDF, sortiert nach Anteil Jahre mit mineralischer Düngung insgesamt	118
Abb. 94: Korrelationsmatrix der Bewirtschaftungsvariablen auf Grünland BDF (nach Kendalls Tau, für skalierte Werte, geclustert nach Ward)	119
Abb. 95: BDF-Standorte, Stand 2018	130

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Anzahl der untersuchten BDF-Standorte je Jahr nach Parametergruppen und Beprobungstiefe	24
Tab. 2: Parameterumfang der Textur-Untersuchungen (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht).....	25
Tab. 3: Parameterumfang der bodenphysikalischen Untersuchungen (x = untersucht, - = nicht untersucht).....	26
Tab. 4: Parameterumfang der Untersuchungen der anorganischen Stoffe, mit unterschiedlichen Aufschlussmethoden (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht)	26
Tab. 5: Parameterumfang der untersuchten Pflanzenschutzmittelrückstände (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht, Mb = Metabolit).....	28
Tab. 6: Parameterumfang der untersuchten Umweltchemikalien (OB = Oberboden, x = untersucht, - = nicht untersucht).....	29
Tab. 7: Parameterumfang der Humus-Untersuchungen (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht).....	30
Tab. 8: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Boden-Probenahmen von 1985 bis 1993 (OB = Oberboden, UB = Unterboden)	32
Tab. 9: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Boden-Probenahme von 1996 bis 1999 und 2005 bis 2007 (OB = Oberboden, UB = Unterboden).....	33
Tab. 10: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der zusätzlichen schichtweisen Grünland-Probenahme von 1996 bis 1999.....	33
Tab. 11: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Probenahme im Jahr 2012	33
Tab. 12: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Probenahme 2015/16.....	34
Tab. 13: Anzahl auf den Regenwurmbestand beprobter BDF-Standorte in Bayern über den Untersuchungszeitraum	35
Tab. 14: Übersicht über die Wirtschaftsdüngerprobenahmen 1985-2018 mit Anzahl der beprobten Wirtschaftsdünger unterschieden nach Düngerart	36
Tab. 15: Parameterumfang der Wirtschaftsdünger-Untersuchungen	37
Tab. 16: Parameterumfang der Luft-Immissionsmessungen.....	38
Tab. 17: Schätzsкала der Aufnahmemethode von Braun-Blanquet (1964), hier für Vegetationsaufnahmen in Acker- und Sonderkulturflächen angewandt.....	39
Tab. 18: Ellenberg-Zeigerwerte (Ellenberg et al. 1991).....	40
Tab. 19: Weitere im Bericht nicht berücksichtigte Untersuchungen auf BDF.....	40
Tab. 20: Übersicht über die verwendeten Parameter, deren Kurz-Bezeichnung und Beschreibung der Parameter.....	54
Tab. 21: Übersicht über die Hauptlandschaftseinheiten und die Verteilung der 80 Acker-BDF sowie der gesamten Ackerfläche in Bayern (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018).....	57
Tab. 22: Übersicht über die Hauptlandschaftseinheiten und die Verteilung der Grünland-BDF, sowie der gesamten Grünlandfläche in Bayern (Stand 2018)	58
Tab. 23: Übersicht zur Verteilung der Acker-BDF und der gesamten Ackerflächen in Bayern über die bodensystematischen Klassen und Bodentypen nach KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	65
Tab. 24: Übersicht zur Verteilung der Grünland-BDF und der gesamten Grünlandflächen in Bayern über die bodensystematischen Klassen und Bodentypen nach KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018).....	66

Tab. 25: Übersicht zur Bodenart und Zustandsstufe der Bodenschätzung für die Acker-BDF und der gesamten Ackerfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	69
Tab. 26: Übersicht zu Bodenart und Zustandsstufe der Bodenschätzung für die Grünland-BDF und die gesamten Grünlandflächen in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)	71
Tab. 27: Anteile der Betriebe je Größenklasse der Tierbestandsdichte in Großvieheinheiten (GV) je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) für den Zeitraum von 2006 - 2018 (InVeKoS Auswertungsjahre 2006-2018)	89
Tab. 28: Kennwerte zur Trendentwicklung der Kulturarten im Acker für die BDF und bayernweit	90
Tab. 29: Anzahl der BDF mit statistisch belegbarer Zu- und Abnahme der Kulturarten im Beobachtungszeitraum 1985-2018	95
Tab. 30: Anzahl der BDF mit statistisch belegbarer Zu- und Abnahme der Bewirtschaftungsparameter im Beobachtungszeitraum 1985-2018 (als Indikator wurde die Signifikanz der logistischen Regression mit der Zeit herangezogen, Signifikanzniveau=0,05)	106

1 Einleitung

Mitte der 1980er Jahre wurde in Bayern ein landesweites Bodenmessnetz eingerichtet mit dem Ziel, den Zustand der Böden langfristig zu dokumentieren und Veränderungen ihrer Funktionsfähigkeit aufgrund von stofflichen Einträgen oder Nutzung der Böden zu erkennen.

Der Boden dient der Speicherung von Wasser und Nährstoffen, stellt Lebensraum für Pflanzen und Tiere dar und ist Grundlage für die Erzeugung landwirtschaftlicher Produkte und damit der Versorgung mit Nahrung und nachwachsenden Rohstoffen. Ein funktionsfähiger Boden leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit, dient zum Schutz vor Hochwasser, indem Wasser in der Fläche zurückgehalten wird, versorgt Pflanzen auch während längerer Trockenperioden mit Wasser und sichert die Ertragsfähigkeit eines Standortes. Dem Boden kommt angesichts des Klimawandels eine wichtige Rolle hinsichtlich der Resilienz und Anpassungsfähigkeit des Agrarökosystems zu. Aufgrund seiner Speicherkapazität und Pufferfähigkeit können sich im Boden aber auch Schadstoffe, eingetragen durch Immissionen aus der Luft, Dünger oder Pflanzenschutzmittel, anreichern. Je nach Pufferfähigkeit des Bodens können Schadstoffe über Ernteprodukte in die Nahrung oder ins Sickerwasser gelangen. Bodenverdichtung und Bodenerosion sind weitere Gefahren, die mit einer intensivierten Nutzung einhergehen.

In den 1980er Jahren waren es unter anderem Meldungen über das „Waldsterben“ durch sauren Regen oder die Schwermetallbelastung der Umwelt durch Abgase aus verbleitem Benzin, welche das Bewusstsein für schädliche Folgen einer immer stärker industrialisierten Gesellschaft auf die Bodenfruchtbarkeit schärften. In der Landwirtschaft wurde der zunehmende Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und deren Rückstände im Boden als problematisch wahrgenommen.

Im Jahr 1985 wurde daher die Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung verabschiedet, in der „eine ausreichende Erfassung der vorhandenen Belastungen des Bodens einschließlich der zugehörigen Ökosysteme, die Beobachtung ihrer Veränderungen, sowie die Dokumentation der jeweiligen Zustände in bestimmten Zeitabschnitten“ gefordert wurde (Deutscher Bundestag, 1985). Noch im gleichen Jahr wurde in Bayern mit der Einrichtung der ersten Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) auf landwirtschaftlichen Flächen begonnen.

In den Folgejahren entstanden in Bayern 140 BDF auf landwirtschaftlich genutzten Standorten, 77 BDF auf Waldstandorten und 61 BDF an Sonderstandorten, wie Naturschutzgebieten oder besonders belasteten Gebieten, beispielsweise neben Autobahnen. Deren Betreuung übernahmen entsprechend der jeweiligen Zuständigkeit die Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) und das Landesamt für Umwelt (LfU).

In regelmäßigen, mehrjährigen Abständen werden seitdem durch die LfL auf den landwirtschaftlich genutzten Flächen Bodenproben entnommen, die Bodenfauna erfasst, Vegetationsaufnahmen durchgeführt und die Bewirtschaftung der Flächen dokumentiert. Zusätzlich werden die in den BDF-Betrieben anfallenden Wirtschaftsdünger regelmäßig beprobt und auf Nährstoffe sowie anorganische Schadstoffe untersucht. In den gewonnenen Bodenproben werden unter anderem die Humusgehalte, die Gehalte an Nährstoffen/Spurenelementen und anorganischen und organischen Schadstoffen bestimmt, die Entwicklung des Regenwurmbestandes als Indikator für die biologische Aktivität des Bodens erfasst und Veränderungen in der Vegetationszusammensetzung untersucht.

Langjährige Messreihen sind nötig, um Veränderungen einzelner Parameter zu erkennen und unter Berücksichtigung von Standortfaktoren wie Bodenart, Topografie und Klima, Zusammenhänge zu bestimmten Bewirtschaftungssystemen abzuleiten.

Aktuell rücken zudem die Folgen des Klimawandels in den Fokus der Bodendauerbeobachtung. Es sind nicht nur dessen Auswirkungen wie längere Trockenperioden, steigende Temperaturen oder häufigere Starkregenereignisse, sondern auch gesellschaftliche Erwartungen, die neue Herausforderungen für die Landwirtschaft der Zukunft darstellen. Der Boden als größter terrestrischer Kohlenstoff-Speicher hat das Potenzial, ein wichtiger Baustein bei der Umsetzung von mehr Klimaschutz in der Landwirtschaft zu werden (LfL, 2017).

Die Bodendauerbeobachtung auf praxisüblichen, landwirtschaftlich genutzten Flächen kann einen wichtigen Beitrag leisten, den Bodenzustand zu dokumentieren, Zusammenhänge mit der Bewirtschaftung herzustellen, festgestellte Veränderungen richtig einzuordnen und die politischen Entscheidungsträger rechtzeitig über diese Veränderungen in Kenntnis zu setzen.

2 Einrichtung und Entwicklung der BDF in Bayern

2.1 Standortwahl

Neben den vom LfU und der LWF betriebenen Bodendauerbeobachtungs-Messstellen betreut die LfL in Bayern aktuell ein Messnetz von 121 Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF). Bei den landwirtschaftlichen BDF handelt es sich um ca. 1000 m² große, fest eingemessene Parzellen auf Standorten, die von Praxisbetrieben und Staatsgütern betriebsüblich bewirtschaftet werden. Die Eckpunkte der Parzellen sind mittels GPS eingemessen und zusätzlich durch vergrabene Magnete markiert, ansonsten aber in der Landschaft nicht sichtbar.

Die Auswahl der BDF-Betriebe richtete sich in den 1980er Jahren nach den Einheiten der „Standortkundlichen Landschaftsgliederung“ nach Wittmann (1991). In 103 der 121 Einheiten in Bayern wurde mindestens ein repräsentativer, landwirtschaftlich genutzter Standort ausgewählt, um die vielfältigen klimatischen und geologischen Bedingungen in Bayern abzubilden (Dalhäuser et al., 1990).

Im Jahr 2018 waren 120 Betriebe am BDF-Programm beteiligt. Durch Wegfall von 19 Standorten in den letzten 30 Jahren sind noch 93 Landschaftseinheiten mit BDF-Standorten vertreten. Der Wegfall der Standorte ist auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Sechs Parzellen mussten im Zusammenhang mit Baumaßnahmen (Hoferweiterungen, Sandabbau, Ausgleichsflächen) aufgegeben werden, während neun weitere Betriebe ihre Teilnahme am BDF-Programm aus persönlichen Gründen gekündigt haben. Vier Acker-BDF, die im Rahmen des BDF-Programms als reine Erosionsmessstellen betrieben wurden, sind inzwischen stillgelegt.

2.2 Einteilung der BDF nach langjähriger Nutzung

Für die vorliegende Auswertung wurden die BDF je nach ihrer Nutzungsgeschichte in die Gruppen „Acker“, „Grünland“ und „Flächen mit Nutzungsänderung“ eingeteilt. Die **Sonderkulturstandorte** mit 3 Hopfen-, 3 Wein- und einer Obstfläche können aufgrund der geringen Anzahl nur individuell ausgewertet und beschrieben werden. Standorte mit einer Laufzeit von weniger als 30 Jahren und BDF, deren Teilnahme am Monitoring inzwischen beendet wurde, wurden in der Auswertung zur langfristigen Entwicklung nicht berücksichtigt.

Für die Einteilung der BDF in die Nutzungsformen, wurde die Hauptnutzung eines jeden Standorts seit Anfang der 1980er Jahre bis zum Jahr 2018 zugrunde gelegt. Standorte, auf denen über diesen gesamten Zeitraum durchgehend eine Ackernutzung (Ackerstatus) stattfand, umfassen 80 BDF (Auswertungsgruppe „Acker“), während auf 18 BDF durchgehend eine Grünlandnutzung erfolgte (Auswertungsgruppe „Grünland“). 12 BDF-Standorte wurden zeitweise als Acker und zeitweise als Grünland bewirtschaftet, wobei ein Standort erst im 5. Jahr nach Grünlandeinsaat als „Grünlandstandort“ (Dauergrünland) gewertet wurde. Wird beispielsweise vier Jahre in Folge (Klee-)Gras angebaut und vor dem fünften Jahr umgebrochen, um danach eine andere Ackerkultur anzubauen, zählt dieser Standort durchgehend als Ackerstandort. Zur Gruppe der „Flächen mit Nutzungsänderung“ zählen demnach Standorte, die neben der Nutzung als Acker mindestens über fünf Jahre zusammenhängend als Grünland genutzt wurden, wobei auch mehrfache Nutzungswechsel vorkamen. Bei einer BDF mit geänderter Nutzung bezieht sich der Nutzungswechsel auf die Umstellung von Hopfen auf Ackerbau. Auf einer weiteren Fläche wurde nur zwei Jahre vor der

Einrichtung der BDF mit der Ackerbewirtschaftung nach Grünlandumbruch begonnen und diese daher den Flächen mit Nutzungsänderung zugeordnet.

3 Untersuchungsumfang und Probenahmemethoden

Im landwirtschaftlichen Bodendauerbeobachtungs-Programm in Bayern werden die fünf Themenschwerpunkte „**Bodenphysikalische Parameter**“, „**Schadstoffe Boden und Eintragspfade**“, „**Humus**“, „**Regenwürmer**“ und „**Vegetation**“ betrachtet. Je nach Schwerpunkt finden die Untersuchungen in unterschiedlich gestaffelten mehrjährigen Abständen statt, sodass bis 2018 je nach Arbeitsschwerpunkt bis zu sechs Wiederholungsuntersuchungen bei Boden-Probenahmen und bis zu zehn Wiederholungen bei Vegetationsaufnahmen stattfanden.

Um jährliche Populationsschwankungen der Regenwürmer von langfristigen Trends zu differenzieren, wurden 4 Acker-BDF von 2012 bis 2016 jährlich beprobt. Zudem finden seit 2012 auf zwei Grünland-BDF jährliche Erhebungen zum Regenwurmbestand statt.

Neben den regelmäßigen Probenahmen wurden im BDF-Programm aber auch immer wieder bestimmte Fragestellungen in zeitlich begrenzten Projekten bearbeitet. Nicht selten wurde auch auf die Rückstellproben des LfL Probenlagers zurückgegriffen, um neue Fragestellungen zu beantworten. Im Probenlager werden die über die Jahrzehnte gewonnenen, getrockneten und auf 2 mm gesiebten Proben von BDF-Böden bei Raumtemperatur in Glasflaschen gelagert. Hinzu kommen Rückstellproben aus der Wirtschaftsdünger-Probenahme.

3.1 Schlagkarteien

Neben den Analysen im Labor sind die jährlich erhobenen **Schlagdaten** eine wichtige Säule des BDF-Programms, ohne die die gemessenen Laborwerte nicht interpretierbar wären. In einer Schlagkartei machen die teilnehmenden Landwirte jährlich Angaben zur Fruchtfolge, zu Zwischenfruchtanbau, mineralischer und organischer Düngung, zur Bodenbearbeitung, ob Ernterückstände belassen wurden, zur Schnitthäufigkeit und Beweidung im Grünland und zur Viehhaltung. Die Angaben der Schlagbewirtschaftung dienen der grundsätzlichen Charakterisierung der Bewirtschaftung der BDF und der Interpretation von möglichen Veränderungen im Boden, z.B. des Humusgehalts oder des Regenwurmbestandes.

Bei den Acker-BDF wurde jährlich die angebaute Hauptkultur und alle wesentlichen Bearbeitungsschritte ab dem Zeitpunkt nach der Ernte der Vorkultur bis zur Ernte der diesjährigen Hauptkultur abgefragt (Abb. 1). Angaben zum Verbleib der Ernterückstände, zum Anbau von Zwischenfrüchten und der organischen Düngung, bei der auch die Art des Düngers abgefragt wird, liefern Informationen über den Eintrag von organischer Substanz. Angaben zur mineralischen Düngung beinhalten Informationen über deren Zusammensetzung aus Haupt- und Spurennährstoffen und zusätzlicher Kalkung. Bei der Abfrage zur Bodenbearbeitung wurde unterschieden in wendende und nicht wendende (pfluglose) Bodenbearbeitung, mit Nennung des Zeitpunkts und der maximalen Bearbeitungstiefe.

Bei den Sonderkulturen wurden zusätzlich Ausbringungsmengen von zink- und kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln abgefragt, die dort in größerem Umfang als im Acker eingesetzt werden und sich im Boden anreichern können. Welchen Effekt der inzwischen abnehmende Einsatz solcher Pflanzenschutzmittel langfristig im Boden bewirkt, ist daher bei den Sonderkulturen von besonderem Interesse.

In der Grünland-Schlagkartei wird neben den Angaben zur Düngung, die Nutzung unterschieden in Wiese, Mähweide und Weide sowie die Anzahl der Schnitte abgefragt (Abb. 2).

Termine wurde seit 2012 verzichte, da diese Angaben von den Landwirten häufig nur unvollständig gemacht wurden, sodass eine genaue Bilanzierung von Stoffflüssen unter den gegebenen Voraussetzungen nicht möglich schien. Auf Plausibilitätskontrollen unter hohem Zeitaufwand wurde daher verzichtet, zugunsten von einfach überprüfbareren Angaben zur grundsätzlichen Flächenbewirtschaftung.

Betriebsbezogene Angaben beschränken sich auf die Nennung des Systems (konventionell oder ökologisch), Angaben zur gehaltenen Tierart und die Gesamt-GV des Betriebs je Hektar landwirtschaftlicher Fläche (LF).

3.2 Bodenprobenahmen 1985-2018

In einem Intervall von etwa fünf Jahren wurden auf allen BDF-Standorten Bodenproben für die Untersuchung unterschiedlicher Parametergruppen gezogen, die in Tab. 1 aufgeführt sind. Für die Bestimmung des Humusgehalts wurden bis 2018 sechs Probenahmeserien umgesetzt. Nach der Ersterhebung, die für alle Parametergruppen zwischen 1985 und 1988 stattfand, folgten für die **Humusuntersuchung** fünf weitere Wiederholungs-Probenahmen aller BDF-Standorte in den Jahren 1989 bis 1993, 1996 bis 1999, 2005 bis 2007, im Jahr 2012 und in den Jahren 2015 bis 2016. In den frühen Beprobungsdurchgängen wurden Proben für Corg-Analysen nur im Oberboden gezogen, später Unterböden anhand von Rückstellproben aus den parallel durchgeführten Anorganik-Probenahmen nachuntersucht. In der 4. und 6. Wiederholung wurden Beprobungen des Unterbodens standardmäßig in den Untersuchungsumfang für Humusuntersuchungen aufgenommen.

Für die Parametergruppe der **anorganischen Stoffe** fanden nach der Ersterhebung im Abstand von 10 Jahren drei Wiederholungsprobenahmen mit Untersuchungen im Ober- und Unterboden statt. Bestimmt wurden die Gesamtgehalte der untersuchten Stoffe, wobei bei der Ersterhebung zunächst nur der Totalgehalt mittels Flusssäure und bei allen anderen Wiederholungsuntersuchungen der Königswassergehalt bestimmt wurde. Um auch für die Ersterhebung vergleichbare Gesamtgehalte mittels Königswasserextraktion zu bekommen, wurde diese 2015/16 aus Rückstellproben nachuntersucht.

Nach BBodSchV sind für die Beurteilung des Pfades Boden-Nutzpflanze bei Verdacht auf schädliche Bodenveränderungen die pflanzenverfügbaren Gehalte von Schwermetallen/anorganischen Stoffen im Ammonium-Nitrat-Extrakt zu bestimmen. Daher wurden diese einmalig bei der 3. Wiederholungsuntersuchung erhoben, um Vergleichsdaten von praxisüblich bewirtschafteten landwirtschaftlichen Flächen zu erhalten bzw. Aussagen treffen zu können, wieviel Prozent der Königswassergehalte bei den verschiedenen anorganischen Stoffen pflanzenverfügbar sind.

Zur Parametergruppe der **organischen Schadstoffe** gehören sowohl Pflanzenschutzmittelrückstände, darunter die chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW) als auch Umweltchemikalien wie polychlorierte Biphenyle (PCB) und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Bei der Ersterhebung wurden die meisten Standorte auf Pflanzenschutzmittelrückstände (CKW, Herbizide, Fungizide, Insektizide, Akarizide) und PCB im Oberboden untersucht. Bei Ackerstandorten fanden zusätzlich Untersuchungen auf Herbizidrückstände im Unterboden statt, sofern die Gehalte im Oberboden über der Bestimmungsgrenze lagen. Aufgrund methodischer Entwicklungen wurden die PAK erstmalig bei der Beprobungsserie Mitte der 90er Jahre untersucht. Wiederholungsuntersuchungen auf organische Schadstoffe (3. und 4. Wiederholung) wurden nur auf 15 bzw. 14 Standorten mit nachgewiesener höherer Belastung mit CKW und PAK fortgesetzt.

Die Bestimmung der **Bodentextur** bzw. Korngrößenverteilung fand im Rahmen der Ersterhebung für alle Standorte in zwei Tiefen (Ober- und Unterboden) sowie am Profil in bis zu 1m Tiefe statt. Ursprünglich nicht als Wiederholungsuntersuchung angelegt, fanden bis 2018 insgesamt vier Texturuntersuchungen statt, um methodische Änderungen bei der Probenahme und im Labor zu berücksichtigen. Weitere bodenphysikalische Parameter wurden in größerem Umfang im Rahmen der Ersterhebung und in der Folge im Rahmen von ergänzenden Projekten, wie der tiefenstufenbezogenen Untersuchung von Grünlandrohndichten, Krumenverschlämmung oder Unterbodenverdichtung von Ackerflächen untersucht.

Bei der sog. Ersterhebung wurde bis Anfang der 90er neben jeder BDF einmalig ein **Bodenprofil** ausgehoben und beschrieben. Neben standortbezogenen Parametern wie dem Bodentyp, dem geologischen Ausgangsmaterial und der effektiven Durchwurzelungstiefe fand eine horizontbezogene Profilsprache statt, bei der Bodeneigenschaften wie Farbe, Skelettanteil, Bodenart, Humusgehalt, Carbonatgehalt, Oxidations- und Reduktionsmerkmale und das Bodengefüge beschrieben wurden. Im Bodenprofil wurden zusätzlich Proben des Unterbodens horizontweise bis 1 m Tiefe entnommen, um die Bodenart durch Texturanalyse im Labor zu bestimmen (vergl. Tab. 2). Die Beschreibung des Bodenprofils diente der einmaligen Standortcharakterisierung. Weiterhin wurden auf den BDF topographische Standortfaktoren wie Neigung und Exposition bestimmt.

3.2.1 Parameterumfang Boden

3.2.1.1 Parameterumfang Bodenphysik

Die Bestimmung der Bodenart (Textur), der Aggregatstabilität und weiterer bodenphysikalischer Parameter dient der Charakterisierung der Standortverhältnisse insbesondere in Hinblick auf die Eignung als landwirtschaftlicher Produktionsstandort. Die Bodenart wird anhand der Korngrößenanteile von Ton, Sand und Schluff ermittelt, die sich wiederum in feiner unterscheidbare Fraktionen einteilen lassen (vergl. Tab. 2). Die Bodenart ändert sich auf landwirtschaftlichen Standorten gewöhnlich nur über lange Zeiträume beispielsweise durch Erosion. Änderungen der Probenahmetiefe und der eingesetzten Labortechnik machten Wiederholungsuntersuchungen erforderlich.

Tab. 2: *Parameterumfang der Textur-Untersuchungen (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht)*

Textur				1986-88			1996-99		2005-07		2015-16	
Parameter	Korngröße (mm)	Abk.	Einheit	OB	UB	Profil	OB	UB	OB	UB	OB	UB
Bodenart				x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ton	< 0,002	T	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Schluff	0,002 - < 0,063	U	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sand	0,063 - < 2,0	S	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
<u>Fraktionen:</u>												
Feinschluff	0,002 - < 0,0063	fU	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Mittelschluff	0,0063 - < 0,02	mU	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Grobschluff	0,02 - < 0,063	gU	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Feinsand	0,063 - < 0,2	fS	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Feinstsand	0,125–0,250	ffS	%	x	x	x	x	x	x	x	-	-
Mittelsand	0,2 - < 0,63	mS	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Grobsand	0,63 - < 2,0	gS	%	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Kies	>= 2,0	Gx	%	x	x	x	-	-	-	-	-	-

Spurennährstoffe und anorganische Schadstoffe											
Aluminium	Al	Königswasser	% TS	x	x	x	x	-	-	x	x
Antimon	Sb	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Arsen	As	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Barium	Ba	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Beryllium	Be	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x
Bismut	Bi	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
Blei	Pb	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Bor	B	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Cadmium	Cd	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Chrom	Cr	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Eisen	Fe	Königswasser	% TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	% TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Kobalt	Co	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Kupfer	Cu	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Mangan	Mn	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Molybden	Mo	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Nickel	Ni	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Quecksilber	Hg	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Rubidium	Rb	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x
Selen	Se	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Strontium	Sr	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x
Thallium	Tl	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-

Uran	U	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	x	x	x	x
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Vanadium	V	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x
Zink	Zn	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x	x	x
		Totalaufschluss	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	-	-
		Ammoniumnitrat	µg/kg TS	-	-	-	-	x	x	-	-
Zinn	Sn	Königswasser	mg/kg TS	x	x	-	-	-	-	x	x

3.2.1.3 Parameterumfang Organische Schadstoffe

Die Parametergruppe der organischen Schadstoffe umfasst Rückstände von Pflanzenschutzmittelwirkstoffen, darunter die chlorierten Kohlenwasserstoffe (CKW), Triazine und Halogenaniline. Sie wurden bei der Ersterhebung umfangreich untersucht. Die Bestimmung aller auf den BDF eingesetzten PSM und deren Metaboliten im Boden erwies sich als zu aufwändig und die Bestimmung nur der extrahierbaren Gehalte mit den Standardmethoden für ein langfristiges Bodenmonitoring als nicht zielführend. Da die CKW aufgrund ihrer hohen Persistenz eine besondere Umweltrelevanz aufweisen, wurde die Wirkstoffgruppe in den Jahren 2012 und 2016 auf ausgewählten Standorten bei erhöhten Gehalten der Ersterhebung wiederholt untersucht (vergl. Tab. 5).

Tab. 5: *Parameterumfang der untersuchten Pflanzenschutzmittelrückstände (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht, Mb = Metabolit)*

Pflanzenschutzmittel Parameter	Einheit	1985-88		2012	2016
		OB	UB	OB	OB
CKW					
Aldrin, Dieldrin, Endrin	µg/kg	x	-	-	-
Endosulfan-Alpha, -Beta	µg/kg	x	-	-	-
DDT-P,P + Metaboliten DDD-P,P und DDE-P,P	µg/kg	x	-	x	x
DDT-O,P + Metaboliten DDD-O,P und DDE-O,P	µg/kg	-	-	x	x
Summe DDT inkl. Metaboliten	µg/kg	x	-	x	x
HCH-Alpha, -Beta, -Delta	µg/kg	x	-	-	-
HCB	µg/kg	x	-	x	x
Heptachlor, Heptachlorepoxyd (Mb v. Heptachlor)	µg/kg	x	-	-	-
HCH -Gamma (Lindan)	µg/kg	x	-	x	x
Methoxychlor	µg/kg	x	-	-	-
Fungizide					
Carbonsäurederivate: Chlorthalonil, Procymidon	µg/kg	x	-	-	-
Pyrimidine: Fenarimol, Nuarimol	µg/kg	x	-	-	-
Dicarboximide: Vinclozolin	µg/kg	x	-	-	-
Dichlofluanid	µg/kg	x	-	-	-
Dichloutrazol	µg/kg	x	-	-	-
Benzolderivate: Quintozen, Pentachloranilin (Mb v. Quintozen (= PCNB)).	µg/kg	x	-	-	-
Herbizide					
Atrazin + Mb. Desethylatrazin, Desisopropylatrazin	µg/kg	x	x	-	-
Carbamate: Diallat, Triallat	µg/kg	x	-	-	-
Carbonsäurederivate: Dichlobenil, Dichlorbenzamid (Mb. von Dichlobenil), Propycamid	µg/kg	x	-	-	-

Dinitro-Phenole: Dinoseb	µg/kg	x	-	-	-
Pyrrolidone: Fluorchloridon	µg/kg	x	-	-	-
Dinitro-Aniline: Ethalfluralin, Pendimethalin, Trifluralin	µg/kg	x	-	-	-
Nitrofen	µg/kg	x	x	-	-
Pyridazine: Chloridazon	µg/kg	x	-	-	-
Herbizide aus der Gruppe der Aniline und Halogenaniline	µg/kg	x	-	-	-
4-Chloranilin (Mb v. Monolinuron)	µg/kg	x	-	-	-
4-Bromanilin (Mb v. Metobromuron)	µg/kg	x	-	-	-
3-Chlor-4-Methylanilin (Mb v. Chlortoluron)	µg/kg	x	-	-	-
3,4-Dichloranilin (Mb v. Linuron)	µg/kg	x	-	-	-
3,5-Dichloranilin (Mb v. Vinclozolin), Procyimidon	µg/kg	x	-	-	-
4-Brom-3-Chloranilin (Mb v. Chlorbromuron)	µg/kg	x	-	-	-
3-Chlor-4-Methoxyanilin Mb v. Metoxuron)	µg/kg	x	-	-	-
Insektizide					
Permethrin	µg/kg	x	-	-	-
Cyfluthrin	µg/kg	x	-	-	-
Cypermethrin	µg/kg	x	-	-	-
Akarizide					
Clofentezin	µg/kg	x	-	-	-

Tab. 6: Parameterumfang der untersuchten Umweltchemikalien (OB = Oberboden, x = untersucht, - = nicht untersucht)

Umweltchemikalien		1985-88	1996-99	2012	2016
Parameter	Einheit	OB	OB	OB	OB
PAK					
Acenaphtylen	µg/kg	-	x	x	x
Naphtalin	µg/kg	-	x	x	x
Acenaphten	µg/kg	-	x	x	x
Fluoren	µg/kg	-	x	x	x
Phenanthren	µg/kg	-	x	x	x
Anthracen	µg/kg	-	x	x	x
Fluoranthen	µg/kg	-	x	x	x
Pyren	µg/kg	-	x	x	x
Benzo(a)anthracen	µg/kg	-	x	x	x
Chrysen	µg/kg	-	x	x	x
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg	-	x	-	-
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg	-	x	-	-
Benzo(bk)fluoranthen	µg/kg	-	x	x	x
Benzo(a)pyren	µg/kg	-	x	x	x
Dibenz(ah)anthracen	µg/kg	-	x	-	-
Dibenz(ah+ac)anthracen	µg/kg	-	-	x	x
Benzo(ghi)perylen	µg/kg	-	x	x	x
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg	-	x	x	x
Summe EPA-PAK ₁₆	µg/kg	-	x	x	x
PCB					
PCB 28	µg/kg	x	-	-	-

PCB 52	µg/kg	x	-	-	-
PCB 101	µg/kg	x	-	-	-
PCB 138	µg/kg	x	-	-	-
PCB 153	µg/kg	x	-	-	-
PCB 180	µg/kg	x	-	-	-
Summe PCB ₆	µg/kg	x	-	-	-

Zudem wurden die Bodenproben auf die Umweltchemikalien PCB (Ersterhebung) und PAK (erstmalig bei der Probenahme 1996-99 sowie 2012 und 2016) analysiert (vergl. Tab. 6). Aufgrund der sehr niedrigen Gehalte bei der Ersterhebung wurden PCB bei den folgenden Beprobungen nicht mehr analysiert.

3.2.1.4 Parameterumfang Humus

Für alle sechs Wiederholungen der Humusprobenahme, die bis 2018 stattfanden, wurden Untersuchungen der Humuskennwerte (Tab. 7) durchgeführt. Es wurden sowohl der organische Kohlenstoff als Maß für den Humusgehalt bestimmt, als auch der anorganische (Carbonat-)Kohlenstoff. Für die Beurteilung der Humusqualität wurde der Gesamtstickstoff ebenso bestimmt, wie der pH-Wert der Bodenproben.

Tab. 7: *Parameterumfang der Humus-Untersuchungen (OB = Oberboden, UB = Unterboden, x = untersucht, - = nicht untersucht)*

Humuskennwerte			1986-88		1989-93		1996-99		2005-07		2012		2015-16	
Parameter	Abkürzung	Einheit	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB	OB	UB
Carbonat	CO ₃	mgC/g	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x
Organischer Kohlenstoff	Corg	mgC/g	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x
Kohlenstoff gesamt	Ct	mgC/g	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x
Stickstoff gesamt	Nt	mgN/g	x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x
pH-Wert	pH		x	x	x	-	x	x	x	x	x	-	x	x

3.2.2 Probenahmemethoden Boden

Nicht nur der Untersuchungsumfang wurde während der bisherigen Laufzeit des BDF-Programms kontinuierlich aktuellen Fragestellungen angepasst und verändert, auch die Methode der Probenahme variierte zwischen den Wiederholungsuntersuchungen. Ursachen dafür sind Anpassungen an statistische Anforderungen und Verbesserung von Arbeitsabläufen. Das folgende Kapitel bietet einen Überblick über die angewandten Methoden der Boden-Probenahme. Methoden der Aufbereitung und Analytik werden in den jeweiligen Schwerpunktkapiteln der Bände 2 bis 6 der Schriftenreihe beschrieben.

3.2.2.1 Einrichtung der Parzellen

Überwiegend in den Jahren 1985 und 1986 wurden die BDF-Parzellen auf den landwirtschaftlichen Flächen eingerichtet. Die Größe der meist quadratischen Parzellen beträgt 1000 m². Die Eckpunkte wurden anhand von Gelände-Fixpunkten vermessen, auf einem Plan eingezeichnet und mit Magneten unter Pflugtiefe markiert. Nachträglich wurden die Pläne digitalisiert, sodass die Parzelleneckpunkte mittels GPS und Magnetsuchgerät im Gelände wiedergefunden werden können.

3.2.2.2 Probenahmeschema

Für die flächenhaften Boden-Probenahmen wurde ein Probenahmeschema gewählt, bei dem vier Mischproben hergestellt wurden, welche die 1000 m² große BDF-Parzelle vollständig repräsentieren sollten. Eine Mischprobe bestand aus Einzeleinstichen unterschiedlicher Anzahl, die mit dem N_{min}-Bohrer in mehreren Tiefen gezogen und im Laufe der Zeit unterschiedlich über die Parzellenfläche verteilt wurden. Punktuelle Probenahmen für Bodenphysikalische Parameter, bei denen Stechzylinder eingesetzt wurden, fanden immer an drei bis vier Stellen innerhalb oder knapp außerhalb der Parzelle statt, die bis 1993 einem Quadranten (A-D) und in den Folgejahren einem Eckpunkt (1-4) zugeordnet wurden (Abb. 3).

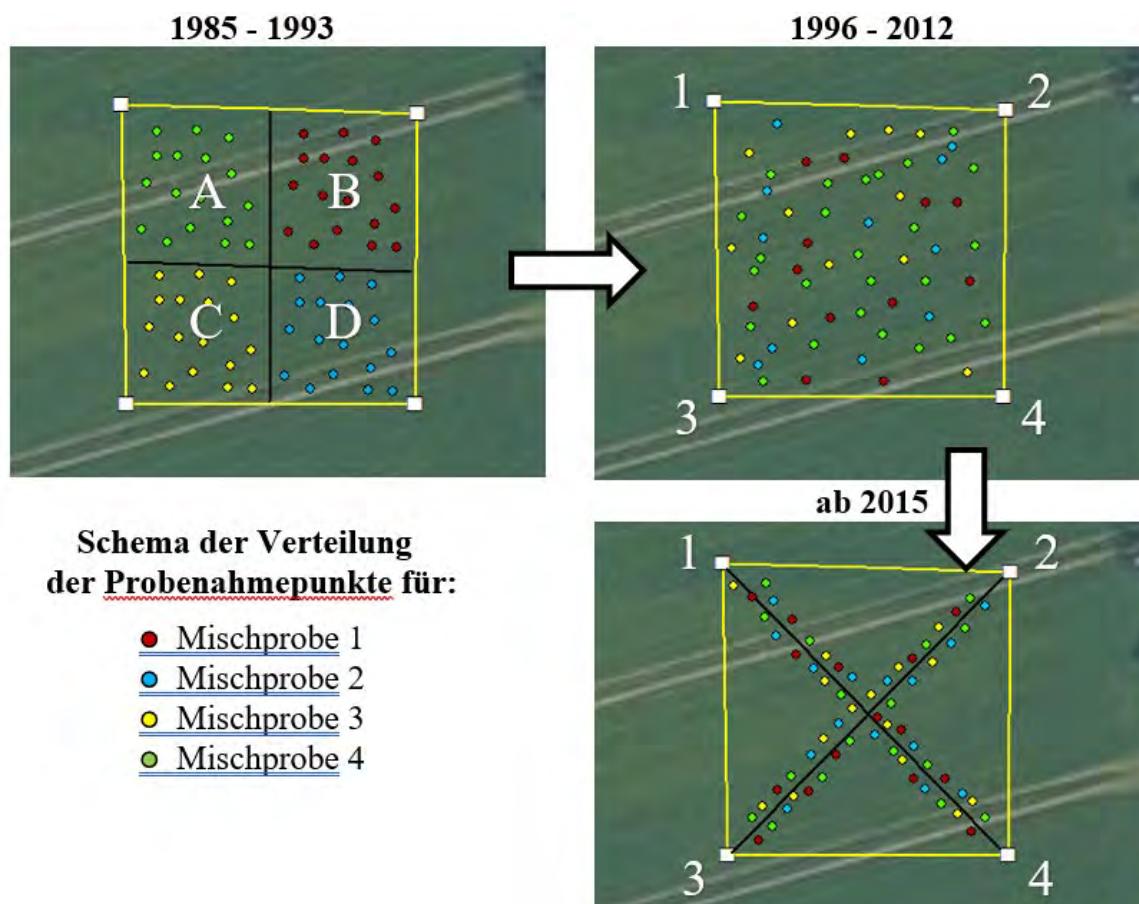


Abb. 3: Verteilung der Einzeleinstiche der Boden-Mischproben zu unterschiedlichen Beprobungs-Terminen (schematische Darstellung, dargestellte Anzahl der Punkte entspricht nicht den tatsächlich durchgeführten Einzeleinstichen)

In den Jahren **1985 bis 1993** wurde die BDF für die Probenahmen für Bodenphysik, Bodeninhaltsstoffe und Humus in vier Teilparzellen mit je 250 m² unterteilt, auf die die einzelnen Entnahmepunkte für die vier Mischproben aufgeteilt wurden. Die Probenahmen für die unterschiedlichen Untersuchungsschwerpunkte fanden nicht in einem Beprobungsdurchgang statt, sondern zu unterschiedlichen Terminen und in teils unterschiedlichen Tiefen (Details siehe Tab. 8). Bei Hopfen erfolgte die Probenahme grundsätzlich aus dem Bifang, bei Wein und Obst aus den Pflanzreihen mit Beprobungstiefen wie im Acker.

Tab. 8: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Boden-Probenahmen von 1985 bis 1993 (OB = Oberboden, UB = Unterboden)

Boden 1985-1993:	Textur und Bodenphysik	Anorganische Stoffe und organische Schadstoffe	Humus
Zeitpunkt	Frühjahr	Herbst oder Frühjahr	Frühjahr
Tiefe OB	Acker: 10-14 cm Grünland: 4-8 cm	Acker: bis Pflugtiefe Grünland 0-10 cm und schichtweise: 0-2, 2-6, 6-14 cm	Acker: 0-15 cm Grünland: 0-10 cm
Tiefe UB	Acker: 5-9 cm unterhalb der Bearbeitungstiefe Grünland: 16-20 cm	Acker: Unterboden bis 20 cm unter Pflugtiefe, Übergang OB/UB verworfen, Grünland: 14-30 cm (aus schichtweiser Beprobung)	keine Beprobung des UB
Entnahmeart	eine Aufgrabung je Teilparzelle, dabei Entnahme von Bodenmaterial in Tüten für Textur und 4 Stechzylinder (100 cm ³) im OB und 2 Stechzylinder im UB für physikalische Parameter	je Teilparzelle 20 über die gesamte Teilfläche verteilte Einstiche mit N _{min} -Bohrer für eine Mischprobe je Teilparzelle und Tiefe (Ø 3,5 cm für OB und Ø 2,5 cm für UB). Verwendung von Alu-Schalen (keine Kontamination mit Plastik) Übergang OB/UB verworfen	je Teilparzelle 50 über die gesamte Teilfläche verteilte Einstiche mit N _{min} -Bohrer (Ø 2,5 cm) für eine Mischprobe je Teilparzelle und Tiefe
Besonderheit	Bei Acker nur im Wintergetreide	Vorhandene Ergebnisse Anorganik-OB bis 1988 <u>mit KW-Aufschluss</u> stammen aus Nachuntersuchungen anhand von Humus- Rückstellproben	Vorhandene UB-Humuswerte bis 1988 stammen aus Nachuntersuchungen anhand von Rückstellproben der Anorganik (nur Acker)

Ab 1996 fand eine Umstellung der Methodik der flächenhaften Probenahmen statt. Die Mischproben wurde nicht mehr getrennt für vier Teilparzellen gezogen, sondern deren Beprobungspunkte möglichst gleichmäßig über die gesamte Parzellenfläche verteilt. Hintergrund waren veränderte statistische Anforderungen. Erst durch die viermalige Beprobung der gesamten Parzelle erhält man räumlich unabhängige Wiederholungen der gemessenen Parameter, die eine Beurteilung von Ausreißern/Messfehlern ermöglichen. Die Erfassung der Heterogenität der BDF-Parzelle wurde diesem Ziel untergeordnet.

Zudem wurde die Probenahmetiefe des Oberbodens im Acker überwiegend auf 0-15 cm festgelegt, während sie sich in der Ersterhebung noch an der Pflugtiefe orientierte. Die vier Mischproben aus dem Unterboden stammten beim Acker aus variablen Tiefen unterhalb der Pflugsohle. Im Grünland betrug die Beprobungstiefe ab 1996 im Oberboden 0-10 cm (für Details vergl. Tab. 9). Bei den Sonderkulturen Hopfen und Wein wurden die Proben im Oberboden aus 0-15 cm, im Unterboden aus 30-50 cm gezogen, bei der Obst-BDF nur aus dem Oberboden in 0-15 cm Tiefe.

Die Probenahme erfolgte erstmals für alle Parameter in einem gemeinsamen Beprobungsdurchgang, sodass sich die Analysewerte für anorganische Stoffe und organische Schadstoffe, Humus und Textur immer auf die gleiche Mischprobe aus der gleichen Probenahmetiefe beziehen. Im Grünland fand zwischen 1996 und 1999 eine zusätzliche schichtweise Probenahme für die Untersuchung anorganischer Nähr- und Schadstoffe bis in 30 cm Tiefe statt (Tab. 10).

Tab. 9: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Boden-Probenahme von 1996 bis 1999 und 2005 bis 2007 (OB = Oberboden, UB = Unterboden)

Boden 1996-2007	Textur, Anorganik, PAK, Humus
Zeitpunkt	Frühjahr
Tiefe OB	Acker: i.d.R. 0-15 cm, Grünland: 0-10 cm
Tiefe UB	Acker: ab Pflugtiefe bis ca. 20 cm unter Pflugtiefe, Übergang OB/UB verworfen Grünland: keine eigene UB-Probenahme – 1996-99 aber Unterboden aus schichtweiser Beprobung entnommen (vergl. Tab. 10)
Entnahmeart	4 Mischproben je gezogener Tiefe, je Mischprobe 25 über die gesamte Parzelle verteilte Einstiche mit N _{min} -Bohrer (Ø 3,5 cm für OB und Ø 2,5 cm für UB).
Besonderheit	Bei Acker nur im Wintergetreide

Tab. 10: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der zusätzlichen schichtweisen Grünland-Probenahme von 1996 bis 1999

Boden 1996-1999:	Anorganik Grünland
Zeitpunkt	Herbst und Frühjahr
Tiefen	0-5, 5-10, 10-15, 15-20, 20-30 cm
Entnahmeart	4 Mischproben je gezogener Tiefe, je Mischprobe 20 über die gesamte Parzelle verteilte Einstiche mit N _{min} -Bohrer (Ø 3,5 cm)
Besonderheit	Im Grünland wurde 1996-99 für die Anorganik-Untersuchung zusätzlich schichtweise beprobt

Ab 2012 wurden die Probenahmetiefen für Acker, Grünland und Sonderkulturen in Ober- und Unterboden vereinheitlicht. Die Probenahmetiefe des Oberbodens bei Acker, Hopfen und Wein beträgt seitdem immer 0-15 cm, die Probenahmetiefe im Unterboden immer 35-50 cm (Tab. 11). Im Grünland und in der Obst-BDF wurde die Beprobungstiefe im Oberboden auf 0-10 cm festgelegt, im Unterboden auf 15-30 cm. Bei der Probenahme von 2012 wurden neben den Humuskennwerten auch organische Schadstoffe auf 15 Standorten untersucht, mit der Besonderheit, dass bei diesen die Probenahme mit Werkzeugen und Gefäßen aus Edelstahl durchgeführt und die Organik-Proben noch auf dem Feld in Braunglasflaschen abgefüllt wurden.

Tab. 11: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Probenahme im Jahr 2012

Boden 2012	Humus, Organische Schadstoffe (PAK, CKW)
Zeitpunkt	Dezember bis April
Tiefe OB	Acker, Hopfen, Wein: 0-15 cm Grünland, Obst: 0-10 cm
Entnahmeart	4 Mischproben je BDF, je Mischprobe ca. 30 über die gesamte Parzelle verteilte Einstiche mit Probenstecher (Ø 2,0 cm).

Um sicherzustellen, dass die Einstiche der vier Mischproben je Beprobungstiefe tatsächlich über die gesamte Ausdehnung der BDF gleichmäßig verteilt werden, wurde die Methode im Jahr 2015 weiter angepasst. Die N_{min}-Bohrer-Einstiche werden seitdem entlang der Parzellendiagonalen ausgerichtet. Die mindestens 20 Einstiche je Mischprobe werden dabei gleichmäßig auf beide Diagonalen verteilt. Die Probenahme erfolgte in den Jahren 2015 und 2016 für alle zu untersuchenden Parametergruppen in einer gemeinsamen Probenahme. 14 Standorte, die für die Untersuchung auf organische Schadstoffe in Betracht kamen, wurden wie 2012 „kunststofffrei“ beprobt (vergl. Tab. 12).

Tab. 12: Übersicht über Zeitpunkt, Methode und Tiefen der Probenahme 2015/16

Boden 2015-2016	Humus, Anorganik, Organische Schadstoffe, Textur
Zeitpunkt	Dezember bis April
Tiefe OB	Acker, Hopfen, Wein: 0-15 cm, Grünland, Obst: 0-10 cm
Tiefe UB	Acker, Hopfen, Wein: 35-50 cm, Grünland, Obst: 15-30 cm
Entnahmeart	4 Mischproben je BDF, je Mischprobe und Tiefenstufe ca. 25 Einstiche mit dem N_{\min} Bohrer (\varnothing 3,5 cm für OB und \varnothing 2,5 cm für UB) entlang der Parzellen-Diagonalen.

3.2.3 Bewertung der Probenahmemethode und Ausblick

Anpassungen der Methoden der Probenahme und des Umfangs der untersuchten Parameter lassen sich bei einem Langzeitmonitoring nie ganz vermeiden. Die Veränderungen im Probenahmedesign, die die Verteilung der Einstiche über die Fläche betreffen, können durch die Bildung von Mittelwerten über die vier Mischproben in gewissem Umfang ausgeglichen werden. Beeinflussen jedoch die Streuung und Genauigkeit der Messungen.

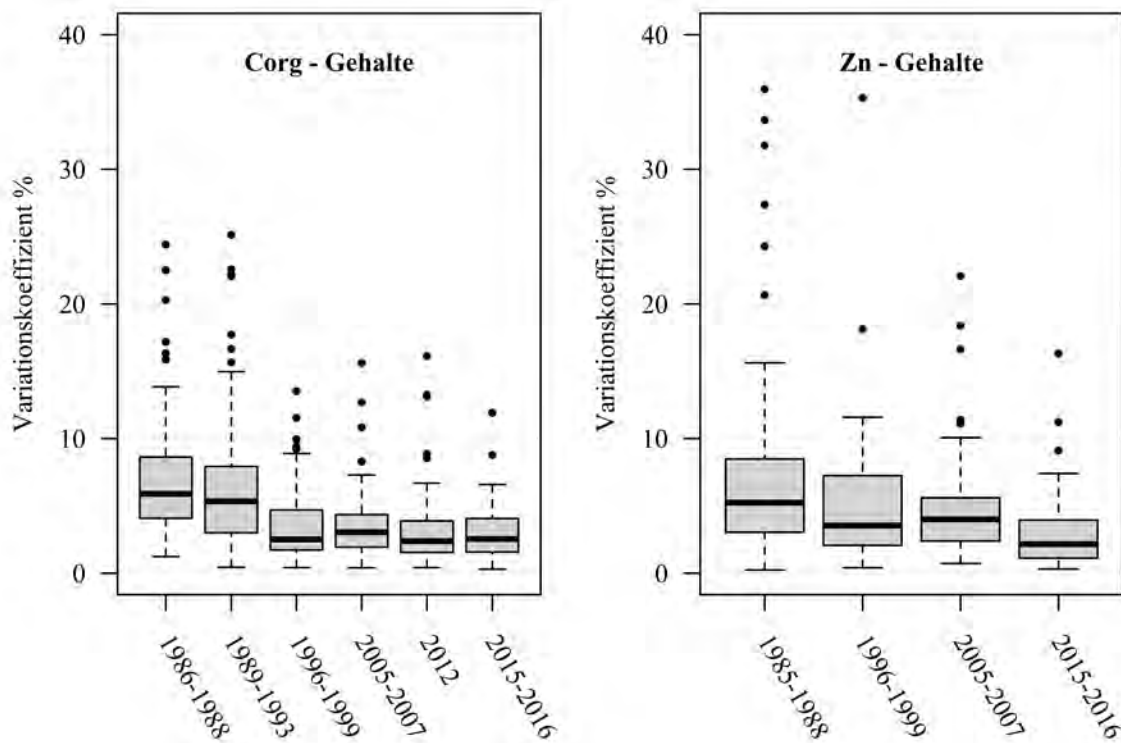


Abb. 4: Boxplots der Variationskoeffizienten der Probenahmen in den Beprobungsserien. links für organische Kohlenstoffgehalte, rechts für Zink-Gehalte

Für die Probenahmemethodik der Untersuchung im Zeitraum von 1985 bis 1993 ist auf Grund der Mischung auf Teilparzellen im Vergleich zur Mischprobe über die Gesamtfläche von einer größeren Streuung der vier Einzelproben auszugehen. Dies bestätigt sich für zahlreiche gemessene Parameter. Beispielhaft ist in Abb. 4 der für die Beprobungstermine der einzelnen BDF festgestellte Variationskoeffizient für den Corg- und den Zinkgehalt des Bodens dargestellt. Für die Corg-Gehalte ist besonders der Unterschied zur Teilflächenuntersuchung zu Beginn des BDF Programms deutlich zu erkennen. Bei den Zinkgehalten ist ein weiterer Rückgang der Variation zur Mischprobenahme entlang der Diagonalen festzustellen. Dies kann durch die Verringerung der beprobten Gesamtfläche erklärt werden und ist

wohl vorwiegend für weniger homogen verteilte Parameter mit auch kleinräumig starker Variation zu erwarten.

Auf Grund der geänderten Probenahmemethodik sind zeitliche Vergleiche der räumlichen Heterogenität der Flächen nicht möglich. Eine Beurteilung der Veränderungen anhand der Durchschnittswerte ist bei vergleichbarer Verteilung auf die BDF jedoch zulässig (vgl. Kap. 4.4).

Hinsichtlich der Probenahmetiefe erlaubt die nicht durchgängige Beprobung des Oberbodens von Acker-BDF (nur bis 15 cm) nur eingeschränkt Aussagen bei einer Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitungstiefen. Nur in gepflügten Böden repräsentiert die Beprobungstiefe von 0-15 cm aufgrund der Durchmischung den gesamten Oberboden (Ap-Horizont). Bei einer Umstellung auf reduzierte Bodenbearbeitungstiefen kommt es in der Regel zu einer Umverlagerung von Stoffen, beispielweise Corg und Nt, innerhalb des ehemaligen Ap-Horizonts: im oberen Bereich der Ackerkrume (0-10 cm) kommt es oftmals zu einer Akkumulation von Humus, wohingegen darunter meist ein Rückgang zu beobachten ist (Powlson et al., 2014; Krauss et al., 2021). Bei einer isolierten Betrachtung der obersten 15 cm des Bodens, wie es im BDF-Programm der Fall ist, würde eine solche bodenbearbeitungsbedingte Umverteilung als tatsächlicher Anstieg interpretiert werden. Daher müssen bei einer Betrachtung stofflicher Entwicklungen in Ackerböden Standorte mit veränderten Bodenbearbeitungstiefen in der Analyse besonders berücksichtigt werden.

Im Unterboden orientiert sich die Probenahmetiefe bis 2007 bei Acker an der Tiefe der Pflugsohle, die häufig bei 30 cm liegt. Ab 2015 wurde die Tiefe auf 35-50 cm im Unterboden bei Acker und auf 15-30 cm bei Grünland festgelegt, wobei eine maximale Übereinstimmung mit früheren Beprobungstiefen angestrebt wurde.

3.3 Regenwürmer

Seit 1985 werden auf den BDF Bestandserhebungen zur Abundanz (Individuen/m²), Biomasse (g/m²) und Artenvielfalt der Regenwürmer durchgeführt. Dazu erfolgte von 1985 bis 1988 die 1. Beprobung der BDF, von 1989 bis 1999 die zweite, von 2000 bis 2010 die dritte und von 2011 bis 2018 die vierte Probenahme-Kampagne.

Tab. 13: Anzahl auf den Regenwurmbestand beprobter BDF-Standorte in Bayern über den Untersuchungszeitraum

	seit 1985 mindestens 1x beprobt	von 1985 bis 2018 regel- mäßig beprobte BDF in der Nutzungsform	von 2010 bis 2018 mit der erweiterten Methode (Aus- treibung + Handauslese) beprobt
Acker	95	80	80
Grünland	20	18	18
Flächen mit Nut- zungsänderung	14	12	12
Sonderkulturen	7	7	7

Da im Laufe der 35 Jahre die Anzahl der BDF über die Zeit etwas variierte (Kap. 2.1), ergaben sich auch Schwankungen in der Anzahl der auf Regenwürmer beprobten BDF. Über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 hatten 80 Acker-BDF und 18 Grünland-BDF eine gleichbleibende Nutzungsform und wurden in regelmäßigen Abständen auch auf Regenwürmer beprobt (Tab. 13). Weitere 12 BDF erfuhren im Untersuchungszeitraum einen Nutzungswechsel zwischen Acker und Grünland. Als Sonderkulturen wurden drei

Wein-, drei Hopfen- und eine Obstanbaufläche regelmäßig auf ihren Regenwurmbestand untersucht.

Um jährliche Populationsschwankungen der Regenwürmer von langfristigen Trends zu differenzieren, wurden vier Acker-BDF von 2012 bis 2016 jeweils im Frühjahr beprobt (sogenannte Intensiv-BDF). Auf zwei Grünland-BDF finden zudem seit 2012 jährliche Erhebungen zum Regenwurmbestand jeweils im Herbst statt.

Zur Regenwurmerfassung wurden innerhalb der 1000 m² großen BDF für die Nutzungen Acker und Grünland jeweils zufällig verteilt 10 Stichproben genommen. Bei den Sonderkulturen lagen jeweils die Hälfte der Probestellen auf dem Bifang (Hopfen) oder in der Pflanzreihe (Wein und Obstbau) und die 2. Hälfte in der Fahrgasse zwischen diesen Reihenkulturen.

Bis 2010 kam ausschließlich eine Austreibungsmethode zum Einsatz, danach wurde diese um eine Handauslese ergänzt. Warum diese Methodenerweiterung notwendig war, ist ausführlich im Band 5 Regenwürmer in Kap 3.1.2 erläutert. Eine detaillierte Beschreibung der Erfassungsmethode und wie die Aufarbeitung der gefangenen Tiere im Labor erfolgte, ist ebenfalls Band 5, Kap. 2 zu entnehmen.

3.4 Wirtschaftsdünger

Um die Höhe der Stoffeinträge durch Wirtschaftsdünger zu erfassen, wurden in einem Abstand von etwa sechs Jahren die Wirtschaftsdünger der viehhaltenden BDF-Betriebe beprobt und deren Inhaltsstoffe untersucht. Biogasgärreste spielen erst seit 2006 eine Rolle bei der Wirtschaftsdüngeruntersuchung. Es wurden allerdings nur dann Proben gezogen, wenn die Biogasanlage vom BDF-Betrieb selbst betrieben wurde. Bei den Hopfenbetrieben wurden Proben der gehäckselten und kompostierten Hopfenreben untersucht. Tab. 14 gibt einen Überblick über die beprobten Wirtschaftsdüngerarten und deren Häufigkeit.

Tab. 14: Übersicht über die Wirtschaftsdüngerprobenahmen 1985-2018 mit Anzahl der beprobten Wirtschaftsdünger unterschieden nach Düngerart

Wirtschaftsdünger	1985-92	1993	1999	2006	2012	2018
Biogasgärreste	-	-	-	7	5	12
Rindergülle	54	50	42	45	35	40
Schweinegülle	11	29	29	24	10	20
Gemisch aus Rinder- und Schweinegülle	3	-	2	1	-	-
Rindermist	22	20	13	7	8	17
Rinderjauche	6	-	6	5	6	7
Schweinemist	3	1	1	1	-	-
Schweinejauche	-	-	1	-	-	-
Gemisch aus Rinder- und Schweinemist	1	-	2	-	-	-
Hühnermist	1	-	-	1	1	-
Ziegenmist	-	-	-	-	-	3
Ziegenjauche	-	-	-	-	-	3
Pferdemist	1	-	-	1	-	-
Pferdejauche	-	-	-	1	-	-
Hopfenrebenhäcksel	1	-	-	-	3	2
Gesamt	103	100	96	93	68	104

Untersucht wurden die Gehalte der Hauptnährstoffe sowie die Spurenstoffe und anorganische Schadstoffe (Tab. 15).

Tab. 15: Parameterumfang der Wirtschaftsdünger-Untersuchungen

Parameter	Abk.	Aufschluss	Einheit	1985-92	1993	1999	2006	2012	2018
pH-Wert	pH	CaCl ₂		x	-	x	x	x	x
Trockensubstanz	TS		%	x	x	x	x	x	x
Organische Substanz	OrgS		% TS	x	-	x	x	x	x
Hauptnährstoffe									
Stickstoff	NH ₄ -N	Titration	% TS	x	-	x	x	x	x
	Nges	Kjeldahl	% TS	x	x	x	x	x	x
Phosphor	P ₂ O ₅	Königswasser	% TS	x	-	x	x	x	x
Kalium	K ₂ O	Königswasser	% TS	x	-	x	x	x	x
Schwefel	S	Königswasser	% TS	x	-	x	x	x	x
Calcium	CaO	Königswasser	% TS	x	-	x	x	x	x
Magnesium	MgO	Königswasser	% TS	x	-	x	x	x	x
Natrium	Na ₂ O	Königswasser	% TS	x	-	-	x	x	x
Spurenstoffe und anorganische Schadstoffe									
Aluminium	Al	Königswasser	mg/kg TS	-	-	-	x	x	x
Antimon	Sb	Königswasser	mg/kg TS	-	-	x	x	x	x
Arsen	As	Königswasser	mg/kg TS	-	-	x	x	x	x
Barium	Ba	Königswasser	mg/kg TS	-	-	-	x	x	x
Blei	Pb	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Bor	B	Königswasser	mg/kg TS	x	-	x	x	x	x
Cadmium	Cd	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Chrom	Cr	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Cobalt	Co	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Eisen	Fe	Königswasser	mg/kg TS	-	-	x	x	x	x
Kupfer	Cu	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Mangan	Mn	Königswasser	mg/kg TS	-	x	x	x	x	x
Molybden	Mo	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Nickel	Ni	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Quecksilber	Hg	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Selen	Se	Königswasser	mg/kg TS	-	x	x	x	x	x
Thallium	Tl	Königswasser	mg/kg TS	-	-	-	x	x	x
Zink	Zn	Königswasser	mg/kg TS	x	x	x	x	x	x
Uran	U	Königswasser	mg/kg TS	-	-	-	x	x	x

Grundsätzlich wurden von allen BDF-Betrieben die Wirtschaftsdünger untersucht, die in den Vorjahren laut Schlagkartei auf die BDF ausgebracht wurden. Da vor allem bei der Gülle eine gute Durchmischung der flüssigen und festen Bestandteile wichtig für eine repräsentative Probe ist, wurden die Wirtschaftsdüngerproben wenn möglich zum Zeitpunkt der Ausbringung nach intensivem Aufrühren gewonnen. Die Beprobung der Wirtschaftsdünger orientiert sich am empfohlenen Probenahmeablauf der LfL (LfL, 2022).

Bei den flüssigen Wirtschaftsdüngern erfolgte die Probenahme entweder aus dem Güllefass oder der aufgerührten Güllegrube oder dem Gärbehälter. Aus der Grube wurden mit einem Schöpfer mehrere Stichproben entnommen und in einem Behälter gemischt, aus dem

anschließend die Proben abgefüllt wurden. Bei festen Düngern (Mist) wurden aus den gut verrotteten Lagen Stichproben entnommen und gemischt, um einen Teil als Mischprobe abzuzweigen.

3.5 Immissionen aus der Luft

Eine wesentliche Quelle für Stoffeinträge in den Boden sind Immissionen aus der Luft. Zu Beginn des BDF-Programms gab es in Bayern kaum Messstellen in ländlichen Gebieten. Daher wurden im Rahmen des BDF-Programms über einen gut 10jährigen Zeitraum von 1985 bis 1996 direkt an allen 132 BDF die Immissionen aus der Luft gemessen. Gemessen wurde die nasse und trockene Freilanddeposition mittels Bulk-Sammlern nach dem Bergerhoff-Verfahren (VDI, 2022). Auf jeder BDF wurden zwei Bergerhoff-Gefäße mit Auffanghöhe von 2 m über dem Boden aufgestellt. Stickstoffverbindungen, Schwefel, Chlorid und Feststoffeinträge wurden dabei in monatlichen Abständen gemessen. Aus den Feststoffproben wurden weitere Nährstoffe und Schwermetalle bestimmt (vergl. Tab. 16). Aufgrund der gegenüber städtischen Gebieten vergleichsweise sehr geringen Feststoff- und Schwermetallmengen in ländlichen Gebieten wurden die Feststoffproben zunächst über einen Zeitraum von einem halben Jahr, später einem ganzen Jahr gesammelt und aus der Sammelprobe die jährlichen Stoffeinträge aus der Luft ermittelt. Aufgrund des enormen analytischen Aufwandes mussten die Immissionsmessungen auf den landwirtschaftlichen BDF 1996 eingestellt werden. Seit 1997 werden die Immissionsdaten der Dauerbeobachtungsstationen des Bayerischen Landesamtes für Umwelt in ländlichen Räumen (6 Stationen) verwendet.

Tab. 16: Parameterumfang der Luft-Immissionsmessungen

Parameter	Abk.	Einheit	Aufschluss	'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95
Feststoff		kg/ha*Monat		-	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
		kg/ha*Halbjahr		x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Hauptnährstoffe														
Stickstoff	N _{org}	kg/ha*Monat		-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ammonium-N	NH ₄ -N	kg/ha*Monat		-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Nitrat-N	NO ₃ -N	kg/ha*Monat		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Sulfat-S	SO ₄ -S	kg/ha*Monat		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Phosphor	P	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Kalium	K	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Calcium	Ca	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Magnesium	Mg	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Natrium	Na	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Chlorid	Cl-	kg/ha*Monat		x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Spurenstoffe und anorganische Schadstoffe														
Blei	Pb	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Cadmium	Cd	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x

Chrom	Cr	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Cobalt	Co	g/ha*Jahr	Totalaufschluss	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Eisen	Fe	kg/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		kg/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Kupfer	Cu	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Mangan	Mn	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Nickel	Ni	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x
Zink	Zn	g/ha*Halbjahr	Totalaufschluss	x	x	x	x	x	-	-	-	-	-	-
		g/ha*Jahr		-	-	-	-	-	x	x	x	x	x	x

3.6 Vegetation

Für die vegetationskundliche Datenerhebung wurde die Grundfläche von 1.000 m² jeweils in vier Teilparzellen von 250 m² unterteilt. Zur Untersuchung der Vegetation der BDF wurden Vegetationsaufnahmen durchgeführt: Gemäß dem Verfahren von Braun-Blanquet (1964) wurden alle Arten der höheren Blütenpflanzen erfasst und ihre jeweiligen Deckungsgrade nach einer 7-teiligen Skala (Tab. 17) geschätzt. Alle vier Teilparzellen wurden vollständig beprobt.

Tab. 17: Schätzskala der Aufnahmemethode von Braun-Blanquet (1964), hier für Vegetationsaufnahmen in Acker- und Sonderkulturflächen angewandt.

Stufen	Deckungsgrad in % bzw. Abundanz	Mittelwert (%)
r	1 - 3 Exemplare ('rarus' = selten)	0,05
+	mehr als 3 Exemplare, Deckung < 1%	0,55
1	1% - 5% Deckung	3
2	5% - 25% Deckung	15
3	25% - 50% Deckung	37,5
4	50% - 75% Deckung	62,5
5	75% - 100% Deckung	87,5

Bei jedem Beprobungsdurchgang wurde die Fläche zum annähernd gleichen phänologischen Zeitpunkt aufgenommen. Die Aufnahmezeitpunkte lagen auf Ackerflächen, abgestimmt auf die angebaute Ackerfrucht, vor der Ernte. In den Sonderkulturen wurden die Aufnahmen alle drei Jahre wiederholt, auf den Ackerflächen in einem Zyklus von etwa 5 Jahren.

Die Nomenklatur der höheren Pflanzenarten folgt Wisskirchen & Haeupler (1998). Die Gattung *Taraxacum* wurde allerdings abweichend nach Oberdorfer (1979) bearbeitet (*Taraxacum officinale*-Gruppe).

Gleichzeitig mit den Vegetationsaufnahmen wurden neben den Vegetations-Daten und den üblichen Meta-Daten (z.B. Bearbeiter und Datum) weitere, auswertungsrelevante Daten erhoben: In den Vegetationsaufnahmen von Äckern und Sonderkulturen wurden die Arten nach den Kategorien 'Kulturart', 'Kulturdurchwuchs' und 'Kulturbegleiter' getrennt erfasst. Im Weiteren werden auf Äckern und in den Sonderkulturen nur die spontan wachsenden Pflanzen als Vegetation bezeichnet und untersucht (van der Maarel 2005). 'Kulturbegleiter'

und der 'Kulturdurchwuchs' werden als Acker- oder auch Segetal-Arten bezeichnet. Die angebaute Feldfrucht bzw. Dauerkultur wird hier als Standortfaktor betrachtet.

'Ellenberg-Zeigerwerte': Ein großer Teil der in Mitteleuropa vorkommenden Arten der höheren Blütenpflanzen wurde von H. Ellenberg bezüglich ihres ökologischen Verhaltens, insbesondere der Standortansprüche, bewertet. Die Arten erhalten zu insgesamt sieben abiotischen Bereichen (Licht, Temperatur, Kontinentalität, Feuchte, Reaktion, Stickstoff, Salz) eine Einstufung auf einer 9-stufigen Skala. So steht z.B. die Reaktionszahl 3 für 'Säurezeiger, Schwergewicht auf sauren Böden, ausnahmsweise bis in den neutralen Bereich', während die Zeigerwert-Zahl 9 für 'Basen- und Kalkzeiger, stets auf kalkreichen Böden' reserviert ist (Tab. 18). Da diese Zeigerwerte aber nur geschätzte Größen sind und die Pflanzenarten nicht in allen Teilen ihres Verbreitungsareals gleiche Ansprüche haben, hat dieses Instrument keine absolute Verlässlichkeit (Ellenberg et al. 1991).

Tab. 18: Ellenberg-Zeigerwerte (Ellenberg et al. 1991)

Ökologischer Faktor	Abkürzung	Minimum = 1	Maximum = 9
Licht	L	Tiefschatten	Voll-Licht
Temperatur	T	Kälte	Wärme
Kontinentalität	K	eu-ozeanisch	eu-kontinental
Salzgehalt im Boden	S	nicht salzertragend	euhalin bis hypersalin
Feuchte (12-stufig)	F	Starktrocknis	submers
Reaktion	R	Starksäurezeiger	Basen- und Kalkzeiger
Stickstoff	N	stickstoffärmste Standorte	übermäßig stickstoffreiche Standorte

Wie bei der Auswertung von Vegetations-Aufnahmen meist üblich, haben wir die Zeigerwerte aller in der Aufnahme vorkommenden Arten mit dem jeweiligen Deckungs- bzw. Ertragsanteil gewichtet und dann für die Aufnahme gemittelt. Diese gemittelte Zahl wird als Indikator des betreffenden Umweltfaktors für den Aufnahme-Ort verwendet.

3.7 Weitere Untersuchungen auf BDF

Für den vollständigen Überblick zeigt Tab. 19 weitere auf BDF durchgeführte Untersuchungen, die bei den Auswertungen „35 Jahre BDF“ nicht berücksichtigt wurden. Die Ergebnisse sind in den nach 10jähriger und 20jähriger Laufzeit erschienenen Berichten nachzulesen (s. LBP 1997 Teile I-III) bzw. in der jeweils angegebenen Veröffentlichung.

Tab. 19: Weitere in diesem Bericht nicht berücksichtigte Untersuchungen auf BDF

Art der Untersuchung	Medium	Parameter	Zeitraum	Veröffentlichung
Bodenmikrobiologie	Boden	Mikrobielle Biomasse, Enzymaktivitäten	1986-1999	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil III Beck, T. & Beck, R. (1994): Beck, T., Capriel, P., Borchert, H. & Brandhuber, R. (1995)
Radionuklide	Boden	Cäsium (¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs), ⁹⁰ Strontium	1986-2004	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil I Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2005)

Pflanzenschutzmittel (extrahierbare Rückstände)	Boden	Halogenaniline, Triazine u.a. Herbizide, Fungizide, Insektizide	1986-1989	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil I
Pflanzenschutzmittel (nicht extrahierbare Rückstände)	Boden	Triazine	1986-1996	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil I
Hauptnährstoffe, chemische Parameter	Boden		1986-1989	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil I
Radionuklide	Ernteprodukte	Cäsium (¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs), ⁹⁰ Strontium	1986-2004	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil II Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2005)
Radionuklide	Wirtschaftsdünger	Cäsium (¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs)	1986-1999	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2005)
Anorganische Stoffe	Mineralische Ein- und Mehrnährstoffdünger	As und Schwermetalle	1986-1989	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil II
Bodenerosion	Bodenaustrag, Oberflächenabfluss Bodenverlagerung (Nivellement)	Bodenmenge, Nährstoffe	1985-1999	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil II; Jordan, F. & Müller, C. (1998):
Tiefenverlagerung von Stoffen	Boden (Tiefbohrung, Lysimeter)	Nährstoffe, Pflanzenschutzmittel-Rückstände (Triazine)	1986-1990	Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Teil II

4 Auswertung und statistische Methoden

4.1 Einleitung

Die BDF liefern wichtige Informationen über die langfristige Entwicklung von Messdaten und deren räumlicher und zeitlicher Variation. Sie bieten die Möglichkeit der Prüfung von Hypothesen, der Evaluierung von Maßnahmen und dienen allgemein dem besseren Verständnis der Phänomene im Boden. Für eine mehr als deskriptive, statistische Auswertung, die Rückschlüsse auf gesamt-bayerische Entwicklungen zulässt, bieten sich die BDF auf Acker und Grünland an. Da sich sowohl Hypothesen als auch die regionale Verteilung dieser beiden Nutzungstypen unterscheiden, erfolgt deren Auswertung getrennt. Die BDF mit Sonderkulturen liefern wichtige Hinweise für Veränderungen im Boden bei dieser besonderen Form der Landbewirtschaftung. Weil sie nur mit drei (Hopfen und Wein) bzw. einer Fläche (Obst) je Kultur vertreten sind, ist es nicht möglich, hieraus allgemeingültige Schlüsse für diese Nutzungsformen in Bayern zu ziehen. Daher werden die erhobenen Parameter nur deskriptiv und im Verhältnis zu den anderen Nutzungsformen beschrieben. Ähnlich verhält es sich mit den BDF mit Umstellung der Hauptnutzungsform (Flächen mit Nutzungsänderung). Diese sind bodenkundlich zwar von Interesse, sich ändernde Probenahmemethodik und sehr individuelle Bewirtschaftungsverläufe sorgen jedoch dafür, dass diese Ergebnisse ebenfalls nur deskriptiv beschrieben werden.

4.2 Statistische Kennwerte

Zum Vergleich der Messerergebnisse zwischen den Nutzungsformen (Acker, Grünland, Flächen mit Nutzungsänderung, Hopfen, Wein, Obst) werden die Mittelwerte, Mediane, Maxima, Minima und die Variationskoeffizienten der erhobenen Parameter für die BDF der jeweiligen Nutzungsgruppe (Mittelwerte aus allen Beprobungen) angegeben. Für eine Abschätzung der Schwankungen der einzelnen Parameter, wurden Variationskoeffizienten und gemittelte Variationskoeffizienten berechnet:

- „großräumige Variation zwischen den BDF“: Variationskoeffizient der Mittelwerte der BDF
- „Mittlere Variation für die Probenahme“: Mittelwert der Variationskoeffizienten der Proben zu einem Probenahmetermin („kleinräumige Streuung zwischen den Wiederholungen innerhalb einer Probenahme“)
- „Mittlere zeitliche Variation“: Mittelwert der Variationskoeffizienten für die Mittelwerte je Termin innerhalb einer BDF

Da in der Regel die Anzahl an Flächen, Probenahmeterminen und der Serien in gleichem Verhältnis zueinanderstehen, unterscheidet sich die Anzahl der in die Mittelwerte und Streuungsmaße eingehenden Werte nur geringfügig und Vergleiche sind ohne Verzerrungen möglich. Die Variationskoeffizienten ermöglichen eine Abschätzung der mittleren Schwankungen zwischen den Nutzungsgruppen und den bestimmten Parametern. Die Berechnung des Variationskoeffizienten der einzelnen Probenahmen diene auch der Erkennung von Ausreißern. Einzelmessungen, die auffällig von den übrigen Messwerten für diese Probenahme abwichen, wurden entweder entfernt oder die Messung anhand von Rückstellproben verifiziert.

4.3 Beschreibung der Bewirtschaftung im Beobachtungszeitraum

Für jede BDF wurde die Bewirtschaftung anhand des Anteils des Auftretens der verschiedenen Merkmale der landwirtschaftlichen Praxis im Beobachtungszeitraum beschrieben. So

ergibt sich beispielsweise der Anteil an Jahren mit Maisanbau oder pflugloser Bodenbearbeitung für den Beobachtungszeitraum. Diese Variablen wurden ebenso herangezogen, um die beobachteten Veränderungen der näher untersuchten Parameter (z.B. organischer Kohlenstoffgehalt, Siedlungsdichte des Tauwurms usw.) zu erklären. Da sich die Beprobungsserien in der Regel über mehrere Jahre erstreckten und auch häufig in Länge und Lage nicht einheitlich waren, wurden hierbei die Anteile speziell für den parameterspezifischen Beobachtungszeitraum berechnet.

Als Indikator für die Änderung der Bewirtschaftungsmerkmale organische Düngung, Anbau von Kulturen, Zwischenfrüchten, pfluglose Bodenbearbeitung und dem Verbleib von Ernterückständen auf dem Feld während des Beobachtungszeitraums auf einer BDF wurde das Ergebnis der logistischen Regression dieser dichotomen Variablen über die Jahre als erklärender Faktor verwendet (siehe Beispiel Abb. 5). Ein signifikanter Anteil ($\alpha < 0,05$) an durch die Zeit erklärter Varianz, wurde als deutlicher Hinweis auf wechselnde Bewirtschaftung interpretiert. Hieraus wurde eine Variable mit -1 für Abnahme, 0 keine nachweisbare Änderung und +1 für Zunahme erstellt. Der festgelegte Indikator kann nur Änderungen in dem Zeitraum anzeigen, aus dem auch Beobachtungen vorliegen. Liegen die Änderungen weiter in der Vergangenheit, wirken aber noch auf den Boden nach, können sie nicht erkannt werden. Bei perfekter Anpassung, also kompletter Umstellung, wurde ein Wert zugeordnet, der der Änderung entspricht. Dies war aber nur auf einer BDF für die organische Düngung nötig. Um Veränderungen des einzig metrisch vorliegenden Bewirtschaftungsparameters, der Schnitthäufigkeit aufzudecken, wurde eine Regression mit dem Untersuchungsjahr durchgeführt. Ein Bestimmtheitsmaß $> 0,3$ wurde als deutlicher Hinweis auf eine Änderung der Schnittnutzungsintensität herangezogen.

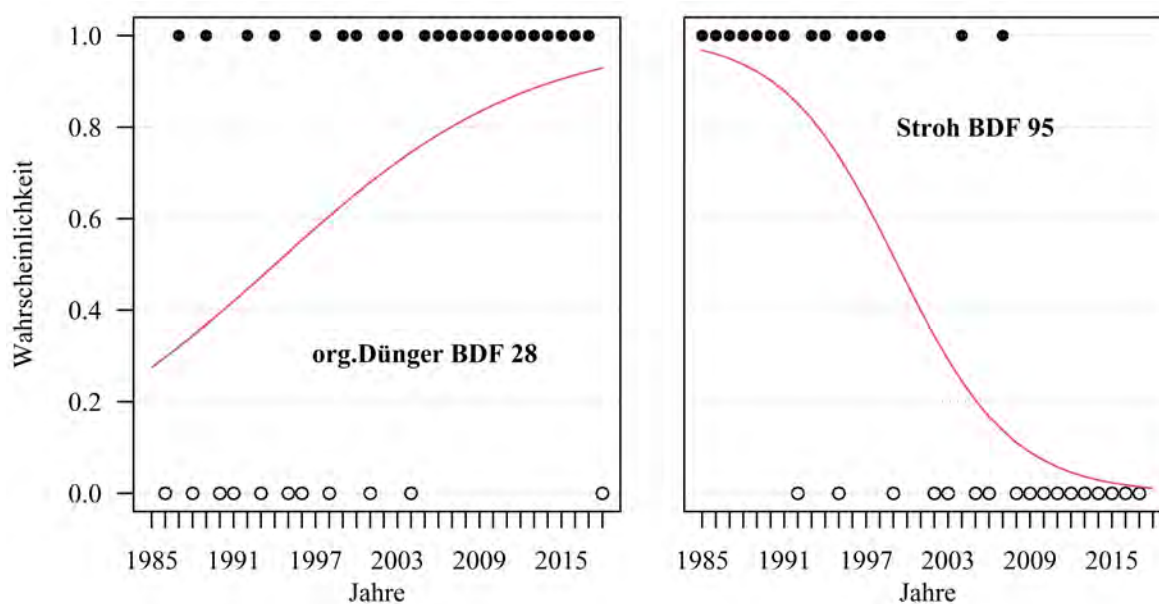


Abb. 5: Beispiel für die deutliche Änderung einer dichotomen Variablen; links BDF 28 „Ausbringung org. Düngung“, rechts BDF 95 „Stroh auf der BDF verblieben“.

Die ermittelten Bewirtschaftungsfaktoren im Beobachtungszeitraum wurden für die Acker-BDF hinsichtlich vorliegender räumlicher Autokorrelationen (Gradienten, räumliche Häufung, nicht zufällige Verteilung usw.) mit Hilfe des Maßes Moran's I geprüft (Moran, 1950). Räumliche Autokorrelation ist bei der Interpretation von gefundenen Zusammenhängen zu berücksichtigen, zeigt fehlende Unabhängigkeit im Datensatz auf und bedeutet in der Regel verstärkte Korrelation mit anderen (auch unbekannt) räumlich verteilten Parametern.

Der Zusammenhang der Bewirtschaftungsparameter wurde in einer Korrelationsmatrix und Heatmap dargestellt. Für die Korrelationen wurde der Rangkorrelationskoeffizient Kendall's Tau verwendet, da er für nicht normalverteilte Werte verwendet werden kann und bei auftretenden Bindungen (identische Werte bei der Bildung von Rängen) eine robustere Methode darstellt. Für die Heatmap wurden die ermittelten Bewirtschaftungsparameter, einschließlich der ermittelten Wechsel von Bewirtschaftung, standardisiert. Das Clustering erfolgte mit dem hierarchischen Ward-Verfahren.

4.4 Ermittlung der bayernweiten Entwicklung

Neben dem Beitrag, den das BDF-Programm zur Beschreibung der Verteilung der verschiedenen Parameter in Bayern liefert, ist die Hypothese, ob sich Bodeneigenschaften während der Laufzeit seit den 80er Jahren verändert haben, von zentralem Interesse. Für eine Zeitreihenanalyse ist die Anzahl der Wiederholungsmessungen (Serien) noch recht gering (Humusuntersuchungen 6, anorganische Schadstoffe 4, Vegetationsaufnahmen 8-10, Regenwurmfauna 4 bis zum Jahr 2018). Daher wurde diese Hypothese anderweitig einer statistischen Prüfung unterzogen. Hierfür wurde für jede der betrachteten BDF (Acker und Grünland) eine Regressionsgerade berechnet und deren Steigung als Indikator für die Änderung des Parameters herangezogen. Diese Steigung wird im Folgenden auch als Trend bezeichnet. In vielen Fällen sind die Änderungen allerdings nicht linear, so gibt es beispielsweise sprunghafte Änderungen, Ausreißer, die nicht auf eindeutige Fehler bei der Messung zurückzuführen waren oder mehrere Einzelproben umfassten und einen hohen Einfluss auf die Gerade hatten, oder sehr inkonsistente Messparameter. Ein Überblick über einige real gemessene Verläufe bietet der Band 4: Humus, Kapitel 3 für den organischen Kohlenstoffgehalt. Die Steigung der Regressionsgeraden ist nicht vom Stichprobenfehler der einzelnen Probenahme abhängig, sondern berücksichtigt letztendlich nur die Mittelwerte der Serien. Dennoch ist sie für die Hypothese der Veränderung ein ausreichend robustes Maß. Gerade für eher langsam ablaufende Prozesse im Boden und bei der Änderung der Bewirtschaftungsweise, sind auf der vorliegenden zeitlichen Skalenebene lineare Trends wahrscheinlich.

Zu berücksichtigen ist die Sensitivität dieser Methodik gegenüber systematischen Fehlern. So können sich auch geringe Änderungen wie neue Messtechnik, Probenahmetiefe oder wechselnde Analysenlabors, systematisch in den Trends wiederfinden und so zu Fehlinterpretationen führen. Um festzustellen, wie stark die Messungen auf den einzelnen BDF im Zusammenhang mit dem Zeitverlauf stehen, wurde das Bestimmtheitsmaß der linearen Regression (R^2) berechnet. Das Bestimmtheitsmaß für lineare Zusammenhänge sagt nichts über die Signifikanz des Zusammenhanges aus und ist abhängig von der Stärke des Effektes. In dieser Auswertung wurde angenommen, dass ein deutlicher Zusammenhang zwischen dem Jahr der Probenahme und dem geprüften Parameter besteht, wenn die angepasste Ausgleichsgerade mindestens 30 % der Varianz erklären kann, also ein Bestimmtheitsmaß von 0,3 aufweist. Dies berücksichtigt sowohl den Fehler der Probenahme als auch die Variation zwischen den Probenahmetermen. Ein Bestimmtheitsmaß von 0,3 gilt als Grenzwert zwischen keiner bzw. einer sehr geringen Effektgröße und einer geringen Effektgröße (Moore et al. 2013).

Zum Vergleich mit der Verteilung der hinsichtlich der Güte der Anpassung nicht beurteilten Trends, werden daher zudem noch die BDF ausgewiesen, deren berechneter Trend ein Bestimmtheitsmaß größer 0,3 aufweist. In früheren Auswertungen wurde der Zusammenhang zwischen Probenahme-Jahr und Parameter teilweise mit einem T-Test für die einzelne BDF auf Signifikanz geprüft (Capriel & Seiffert, 2011). Diesem Verfahren wird hier nicht mehr

gefolgt, da einige Voraussetzungen für die Anwendung dieser Teststatistik nicht gewährleistet sind. Die Verwendung des Bestimmtheitsmaßes zur Beurteilung des Effekts auf Einzelsebene bietet jedoch eine gewisse Vergleichbarkeit, da bei einem Wert des Bestimmtheitsmaßes größer 0,3 auch Signifikanz (Irrtumswahrscheinlichkeit $< 5\%$) ausgewiesen worden wäre, wobei das $R^2 > 0,3$ etwas konservativer beurteilt. Als weiteres Maß für die Anpassung der Regression wurde der Standardfehler der Regression (RMSE) berechnet. Dieser zeigt verstärkt den Unterschied zwischen den durch die lineare Modellierung vorhergesagten und den gemessenen Werten, und ist damit weniger abhängig von der Größe des angenommenen Effekts, sondern beinhaltet auch höhere Messunsicherheiten bei höheren Werten.

Auf der Ebene einzelner BDF sind Zusammenhänge zwischen dem oben beschriebenen Trend und Merkmalen der Fläche, wie Standortfaktoren und Bewirtschaftung, auf Grund des Fehlens von unabhängigen Wiederholungen, nicht wissenschaftlich ableitbar. Dennoch kann die Summe von Auffälligkeiten auf den Einzelflächen Hinweise sowohl für die Interpretation, Fehlersuche und auch für die Ursachenforschung liefern. Deshalb wurde sich dafür entschieden, die Verhältnisse der BDFs mit der jeweils größten Zunahme bzw. Abnahme der entsprechenden gemessenen Parameter und guter linearer Anpassung ($R^2 > 0,3$) zu beschreiben und auf Grund bekannter Zusammenhänge zu erklären. Um die Hypothese zu prüfen, ob sich die untersuchten Parameter in Bayern oder zumindest im BDF-Programm (siehe Kapitel 5 Standortbeschreibung und Repräsentativität für Bayern) im Laufe der Zeit geändert haben, wurde die Verteilung der berechneten linearen Trends geprüft. Hierbei wurde mit Hilfe des Wilcoxon-Tests (parameterfrei) getestet, ob die Werte bei einer Fehlerwahrscheinlichkeit von 5% signifikant abweichend von einer Streuung um 0 verteilt sind. Bei keiner Änderung oder rein zufälligen Effekten mit Zu- und Abnahmen wären die Trends zufällig um den Nullpunkt verteilt. Für den Wilcoxon-Test wurde sich entschieden, da die Trends der BDF Stichprobe häufig nicht normalverteilt waren und so eine über die Parameter konsistente Beurteilung gewährleistet werden konnte. Die statistische Power (Trennschärfe) des Tests ist naturgemäß stark vom Stichprobenumfang abhängig und deshalb die Ergebnisse von Grünland nicht mit denen von Acker vergleichbar. Wichtig ist, die Größe der gefundenen Trends hinsichtlich ihrer bodenkundlichen Bedeutung zu beurteilen. Hierbei mag es nützlich sein, die jährlichen Änderungen auf längere Zeiträume umzurechnen und ins Verhältnis zum Mittelwert und zur Messgenauigkeit zu setzen.

Die Beispiele in Abb. 6 und Abb. 7 dienen der Veranschaulichung der Methode für die Stichprobe der Acker-BDF. Zu Grunde liegt jeweils ein künstlicher Messparameter mit dem Mittelwert 10 und einer Standardabweichung von 2 für alle Messwerte. In Abb. 6 zeigt sich, dass zufällige Änderungen sich gleichmäßig um den Null-Punkt verteilen. Der herangezogene Indikator für Hinweise auf eine aus der Stichprobe ableitbare Veränderung in Bayern, der parameterfreie Wilcoxon-Test, zeigt keine nachweisbare Verschiebung von einer Verteilung um den Wert Null. Der Mittelwert liegt bei $0,005 \text{ a}^{-1}$. Abb. 7 zeigt einen zu Grunde gelegten, auf alle Messpunkte gleichmäßig wirkenden, jährlichen Anstieg von im Mittel $0,02 \text{ a}^{-1}$ bei einer Standardabweichung dieser Änderung von ebenfalls $0,02$. Hier liegt der Mittelwert bei $0,016$ und damit näher an dem vorgegebenen Trend von $0,02 \text{ a}^{-1}$. Die berechneten Änderungen sind deutlich in den positiven Bereich verschoben. Ein signifikantes Ergebnis des Wilcoxon-Tests weist auf diese nennenswerte Abweichung von einer rein zufälligen Verteilung um Null hin. Dies ist ein Hinweis auf einen in der Grundgesamtheit (bayerischer Ackerböden) wirkenden Effekt für den gemessenen Parameter. Das R^2 der angepassten Regressionen ist, da die erzeugten Werte in keinem Zusammenhang stehen, gering. Für die realen gemessenen Werte besteht grundsätzlich eine deutlichere zeitliche Abhängigkeit der Messungen und damit ein höherer Anteil erklärter Varianz der angepassten Regressionsgeraden. Die blauen Kreuze in Abb. 6 und Abb. 7 geben die Differenz zwischen

dem letzten Messwert und dem ersten umgerechnet auf eine jährliche Änderung an. Deutliche Abweichungen zum über die lineare Regression ermittelten Trend (z.B. Vorzeichenwechsel) deuten beispielsweise auf einen nicht linearen Verlauf hin.

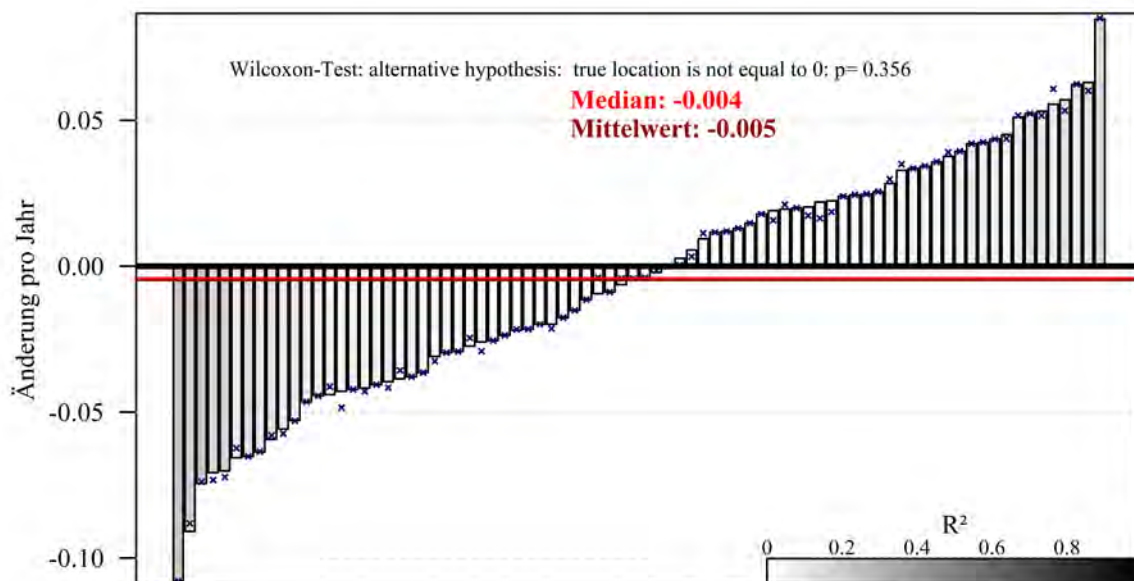


Abb. 6: Entwicklung zufälliger Messwerte (normalverteilt, Mittelwert = 10, Standardabweichung = 2) für sechs Probenahmeserien als lineare Trends für 80 BDF; Unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

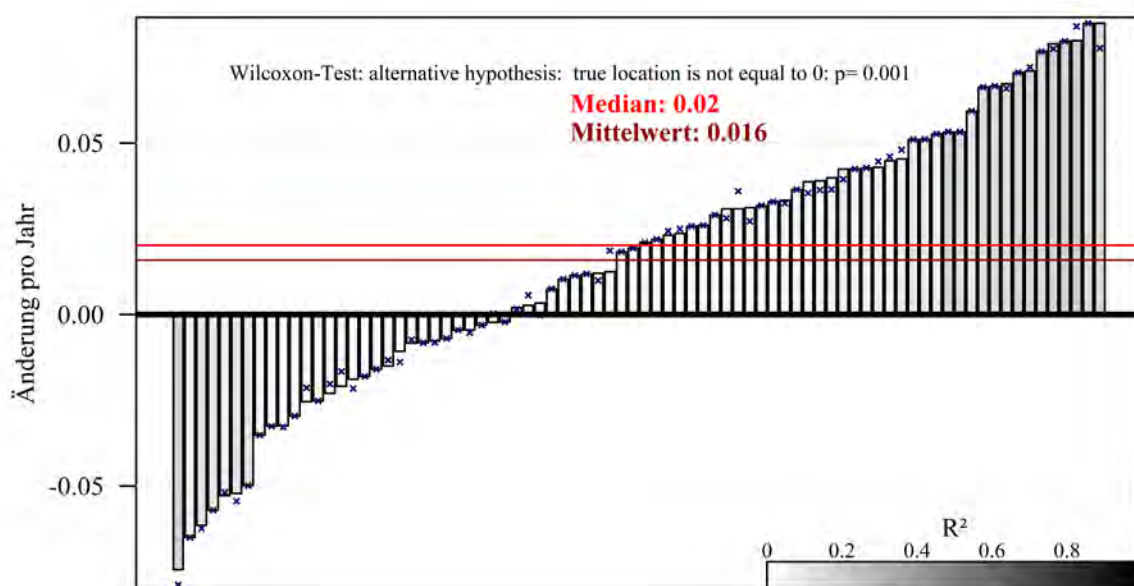


Abb. 7: Entwicklung zufälliger Messwerte (normalverteilt, Mittelwert = 10, Standardabweichung = 2) bei zusätzlicher jährlicher Änderung von im Mittel 0,02 pro Jahr (Standardabweichung 0,02) für sechs Probenahmeserien als lineare Trends für 80 BDF; Unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

4.5 Repräsentativität der Stichprobe

Um Aussagen aus den Ergebnissen der Bodendauerbeobachtung auf Bayern übertragen zu können (Inferenzstatistik), ist die Repräsentativität der Stichprobe der BDF entscheidend.

Um einen Hinweis zu erhalten, ob die untersuchten BDF als eine Stichprobe der bayerischen Grundgesamtheit an Acker- bzw. Grünlandböden herangezogen werden können, wurde der χ^2 Test mit bekannten Wahrscheinlichkeiten und simuliertem p-Wert (Monte-Carlo: $n=10.000$) für die bodenkundlichen und geographischen Basisinformationen durchgeführt. Bei diesem Test würde eine Ablehnung der Null-Hypothese bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % anzeigen, dass die Verteilung der BDF, die hier behandelt werden, hinsichtlich des geprüften Merkmals von der Verteilung in ganz Bayern verschieden ist. Der Umkehrschluss ist nicht zulässig und auch die Stichprobengröße beeinflusst die mögliche Repräsentativität, so dass der Nachweis einer Abweichung bei den Grünland-BDF mit 18 Flächen mit geringerer Wahrscheinlichkeit erfolgen kann als bei höherer Stichprobenzahl wie bei den Acker-BDF. Angegeben wird der χ^2 -Wert und der p-Wert (Irrtumswahrscheinlichkeit). Zudem kann für nicht repräsentierte Standortkundliche Landschaftseinheiten prinzipiell keine Aussage getroffen werden. Um die Repräsentativität der Bewirtschaftungssysteme und Fruchtfolgen zu untersuchen, wurde deren Anteil an den BDF und deren zeitliche Entwicklung mit den Anteilen und den Zeitreihen in ganz Bayern verglichen, soweit hierzu Daten zur Verfügung standen.

4.6 Stichprobenumfang

Bei der Einrichtung der BDF hatte man das Ziel, in jeder Standorteinheit mindestens eine BDF zu etablieren (siehe Kapitel 2). Abgesehen von diesen Überlegungen wird die Anzahl der Bodendauerbeobachtungsflächen, ebenso wie die der zeitlichen Wiederholung der Probenahmen, vor allem auch durch die Kapazitäten für die Probenahmen und Untersuchungen bestimmt. Eine Verringerung der Anzahl an BDF, insbesondere durch Baumaßnahmen oder Vertragsauflösung, wurde bisher nicht oder nur in Einzelfällen kompensiert. Inwieweit der Stichprobenumfang der Bodendauerbeobachtungsflächen für eine statistische Auswertung ausreichend ist, hängt stark von der zu prüfenden Hypothese und dem gemessenen Parameter ab. Generell ist zu beachten, dass bei einer sehr großen Stichprobe auch sehr geringe Unterschiede verifiziert werden könnten.

Zur Untersuchung der Trennschärfe (Poweranalyse) wird beim Vergleich zweier Stichproben die Effektstärke Cohen's D herangezogen. Diese berechnet sich aus dem Verhältnis des mittleren Unterschieds der Stichproben zur Standardabweichung. In der Regel gilt eine Effektstärke (Cohen's D) von 0,2 als leichter Effekt, 0,5 als mittlerer und 0,8 als starker Effekt. Eine Trennschärfe von 0,5 bedeutet, dass die Untersuchung mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % den Effekt als signifikant ($p < 0,05$) nachweisen kann. In Abb. 8 ist der Zusammenhang zwischen Effektstärke und Trennschärfe für die Stichprobengröße der Acker-BDF (80) und Grünland-BDF (18) bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit für falsch positive Ergebnisse von 5 % dargestellt. Zugrundeliegende Teststatistik ist ein T-Test für gepaarte Stichproben und identisch für einen Einstichproben T-Test.

Eine Untersuchung der Trennschärfe anhand der bereits gemessenen Werte (post hoc), wird als zum Teil irreführend erachtet (Zhang et al. 2019). In Abb. 8 ist dennoch die erwartete Trennschärfe von real beobachteten Messungen von Corg- und Pb-Gehalten eingetragen. Zum einen für den Vergleich der ersten und der letzten Probenahme (gepaarter T-Test), zum anderen für die Abweichung der berechneten Trends von Null für den T-Test (Einstichproben T-Test), unter der Annahme die reale Verteilung entspräche einer Normalverteilung. Die Kurve ist in etwa mit der für einen Einstichproben Wilcoxon-Tests vergleichbar. Da die realen Verhältnisse der zugrundeliegenden Verteilungen nicht bekannt sind und die Berechnung der Trends nicht in die Fehlerabschätzung der Effektstärke eingeht, sind die Werte nur

als grobe Anhaltspunkte zu interpretieren. Zur Abschätzung der Fallzahlen (Poweranalyse) geben sie allerdings bereits wichtige Hinweise.

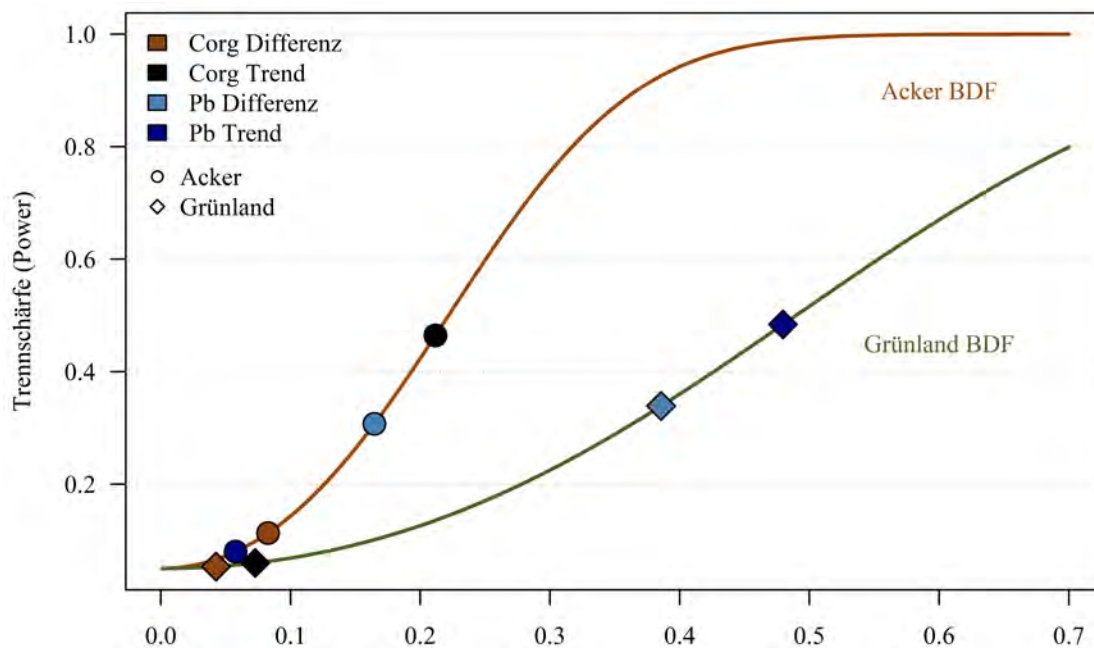


Abb. 8: Poweranalyse für die Stichprobe der Acker- und Grünland-BDF

Die ermittelten Effektstärken für die beispielhaften Gehalte von Corg und Pb liegen alle unter 0,5, für die Corg-Gehalte im Grünland sogar bei sehr geringen Werten unter 0,1. Ein Nachweis dieser geringen Änderungen ist somit nur sehr schwer möglich. Die Änderung der Bleigehalte in den Grünlandböden zeigt allerdings bereits eine Trennschärfe von etwa 40 bis 50 %. Auch die ermittelten Trends der Corg-Gehalte liegen in diesem Bereich und der hier festgestellte Effekt ist wesentlich größer als beim Vergleich der ersten mit der letzten Probenahme. Bei der Konzeption von wissenschaftlichen Untersuchungen ist in der Regel eine Trennschärfe von etwa 80 % erwünscht. Für einen mittleren Effekt (Cohen's D 0,5) reicht hierfür einen Stichprobengröße von etwa 65 BDF aus, für einen schwachen Effekt (Cohen's D 0,2) wäre eine Stichprobengröße von 175 BDF notwendig.

Eine Abschätzung der möglichen Ausprägungen von Böden in Bayern zeigt, dass die Stichprobenzahl nicht alle möglichen Kombinationen von Standorteigenschaften abdecken kann. Geht man von den elf Hauptlandschaftseinheiten nach Wittman aus (siehe Kapitel 5.1), in denen wiederum mindestens zwei abgrenzbare geo-/hydromorphologische Ausprägungen, zwei Entwicklungsstadien der Böden und mindestens zwei deutliche Varianten der Körnung vorkommen, liegt die Anzahl der Faktorkombinationen bereits über der Stichprobenzahl der Acker-BDF. Bedenkt man zusätzlich die für viele der untersuchten Bodeneigenschaften relevanten Bewirtschaftungsfaktoren (z.B. Viehhaltung, ökologischer Landbau, typische Fruchtfolgen), so muss festgestellt werden, dass für eine Auswertung der standorttypischen Größe und Variation der Messwerte, sowie der Bewirtschaftungseffekte und etwaiger Wechselwirkung, die vorliegende Stichprobe nur Anhaltspunkte liefern kann und ein fehlender Nachweis nicht mit einem fehlenden Effekt gleichzusetzen ist.

4.7 Explorative Ursachenforschung

Eine exploratorische Datenanalyse sollte nach möglichen Treibern für die gefundenen Veränderungen suchen. Hierfür wurde ein Modellauswahl und –mittelungsverfahren für

multiple Regressionsmodelle der berechneten Trends gegenüber den erklärenden Variablen (Bewirtschaftung, Standort, Klima) angewandt (Anderson & Burnham 2004, Gruber et al. 2011). Da entsprechende Verfahren keine eindeutigen Hypothesen aufweisen, sind auch hier die gefundenen Zusammenhänge vor dem Hintergrund der Datenlage und bekannter kausaler Zusammenhänge mit Vorsicht zu interpretieren.

Vor der Modellierung wurden auf der Basis aktueller wissenschaftlicher Kenntnisse und bodenkundlicher Erfahrung (z.B. Wiesmeier et al., 2019), Prädiktoren ausgewählt (bis zu maximal 30), welche einen Zusammenhang mit dem zu erklärenden Parameter erwarten, bzw. einen kausalen Zusammenhang möglich erscheinen lassen. Zudem wurde die Eignung der Ausgangsvariablen hinsichtlich ihrer Korrelation mit anderen Parametern und ihrer Verteilung berücksichtigt. Als Prädiktoren wurden nur metrische Variablen berücksichtigt (Beschreibung in Kap. Standort, Kap. Bewirtschaftung, Kap. statistische Methoden). Da die Spanne des Beobachtungszeitraums abhängig von den untersuchten Parametern und BDF ist, wurden entsprechend Anteile und Änderungen der Bewirtschaftungsfaktoren und der klimatischen Daten für den spezifischen Beobachtungszeitraum berechnet. Variablen zur Änderung während des Bewirtschaftungszeitraums wurden nur verwendet, wenn mehr als fünf BDF eine solche zeigten. Um die Änderungen stärker von der ersten Messung und dem Niveau des untersuchten Parameters unabhängig zu machen, wurde für jeden untersuchten Parameter auch der Initial-Wert mit in den Modellen berücksichtigt. Ein hoher Erklärungswert hier deutet zum einen auf einen Zusammenhang mit dem Ausgangsniveau hin, kann aber auch ein Hinweis auf unzureichende Erklärung im Modell sein. Bei hohen Schwankungen des gemessenen Parameters und einer geringen Stichprobenzahl sowie einer geringen Anzahl von zeitlichen Wiederholungen gewinnt der gemessene Ausgangswert (inkl. dessen Fehler) stärker an Einfluss auf die ermittelte Regressionsgerade.

Für die ausgewählten Prädiktoren wurde zunächst deren Korrelation mit dem zu erklärenden Parameter berechnet. Hierbei wurde der Rangkorrelationskoeffizient Kendall's Tau verwendet, da er für nicht normalverteilte Werte verwendet werden kann und bei auftretenden Bindungen (identische Werte bei der Bildung von Rängen) eine robustere Methode darstellt. Auf eine Korrektur der ermittelten p-Werte hinsichtlich der alpha-Fehler Akkumulation (Benjamini & Hochberg 1995, Pike 2001) wurde verzichtet und alle Variablen, die einen Zusammenhang zeigten in Abhängigkeit der Irrtumswahrscheinlichkeit, ausgewiesen.

Mit multiplen linearen Regressionsmodellen wurde versucht, die festgestellten Änderungen eines gemessenen Parameters auf den 80 Acker- BDF durch mehrere Bewirtschaftungs- und Standortfaktoren (Prädiktoren) zu erklären. Wegen des Stichprobenumfangs wurde davon ausgegangen, dass ein Modell bis zu sechs Prädiktoren für Acker-BDF enthalten kann. Dies liegt im Rahmen der gängigen Faustregeln für multiple Regressionsmodelle (Faustregel: $1/10 n$ Harrell 2001). Um das Problem der Auswahl von Variablen (abgesehen von der groben Vorabauswahl s.o.) zu umgehen, wurden Modelle für alle möglichen Kombinationen von Prädiktoren erstellt (0-6 bei Acker). Bei dieser Zahl wird eine ausreichende Anzahl Modelle berechnet, um die Stabilität der Regressionskoeffizienten bei der Berücksichtigung anderer Prädiktoren zu ermitteln. Mehrere Prädiktoren erhöhen allerdings gleichzeitig die Gefahr von Überanpassungen an den Datensatz. Dies ist für eine exploratorische Analyse unschädlich. Will man allerdings Vorhersagen treffen, sollte eine Vergleichsprüfung (cross-validation) mit einem anderen Datensatz die Übertragbarkeit validieren. Wechselwirkungen zwischen den Prädiktoren wurden nicht berücksichtigt. Die Prädiktoren wurden vor der Analyse skaliert und zentriert, relative Abstände zwischen den Werten blieben hierbei erhalten.

Multikolarität beschreibt das Problem von korrelierten Prädiktoren, welches in der multiplen linearen Regression zum einen die eindeutige Trennung von Effekten verhindert und zum anderen das Verhalten der Prädiktoren im Modell unabsehbar beeinflusst. Sie tritt in der Regel bei empirischen Studien (im Gegensatz zu Experimenten wie z.B. landwirtschaftlichen Feldversuchen) auf und beschreibt im Prinzip die fehlende Unabhängigkeit der Merkmale. Im vorliegenden Fall der Auswertung von Daten von Bodendauerbeobachtungsflächen bedingt die praktische, von den Standortfaktoren abhängige Bewirtschaftung, systemimmanente Zusammenhänge, die in Kapitel 6 Betriebsdaten und Bewirtschaftung beschrieben werden. Interpretationen von Merkmalen mit einem signifikanten Einfluss auf die Trends sind daher im Kontext der Abhängigkeit mit anderen Parametern zu interpretieren. Um störende Korrelationen zumindest im Einzelmodell auszuschließen, wurden korrelierte Variablen niemals gemeinsam als Prädiktoren verwendet. Als Maß für einen signifikanten Zusammenhang wurde die Rangkorrelation mit Kendall's Tau bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 % verwendet.

Die angepassten Modelle wurden nach dem Akaike-Informationskriterium (AIC) geordnet und der Abstand der Einzelmodelle zum Modell mit dem geringsten AIC (entspricht dem mit dem besten Erklärungsansatz) berechnet (ΔAIC). Zum einen wurde das Modell mit der besten Evaluation durch den AIC betrachtet. Zum anderen wurden Modelle mit einem $\Delta AIC \leq 4$ gemittelt, wobei der AIC die Gewichtung der enthaltenen Prädiktoren bestimmt. Modelle mit einem $\Delta AIC \leq 2$ zeigen wesentlichen Erklärungswert, bei einem $\Delta AIC > 4$ geht man von deutlich geringerem Erklärungswert aus (Burnham & Anderson 2002). Für das gemittelte Modell wurden die Koeffizienten mit Konfidenzintervallen für 95 % Irrtumswahrscheinlichkeit ermittelt. Hierbei wurde über alle enthaltenen Modelle ein Mittelwert bestimmt, d.h. für Modelle ohne den entsprechenden Prädiktor, wird als Koeffizient Null angenommen (full averaging). Zu jedem Parameter im gemittelten Modell wurde weiterhin die Anzahl der enthaltenden Modelle, der Gewichtungsfaktor und der ermittelte Koeffizient angegeben. Um einen Eindruck von der modellierten Größe und Richtung dieses skalierten Koeffizienten zu erhalten, wurde hierbei nur über enthaltende Modelle gemittelt (conditional averaging). Da bei der Trennung der ermittelten Steigung von den Messdaten, inklusive ihrer Wiederholungen, wichtige Informationen bezüglich der Schwankung um die angepasste Regressionsgerade verloren gehen, wurde nach demselben Verfahren ein weiteres gemitteltes Modell angepasst, welches seine Einzelmodelle nach dem Kehrwert des Standardfehlers der Regression (RMSE) je BDF gewichtet. Prädiktoren, deren Konfidenzintervall die Nullgerade nicht schneiden, können als relevant für die Entwicklung des Parameters angesehen werden. Von großer Bedeutung bleibt jedoch, diese Ergebnisse auch vor dem Hintergrund vorhandener Korrelationen und nicht differenzierbarer systemimmanenter Zusammenhänge zu prüfen.

4.8 Dimensionsreduktion bei Standortfaktoren

Für die Beschreibung des Bodens und des Regionalklimas auf den einzelnen BDF wurden die erhobenen Parameter zudem mit Hilfe einer Faktoranalyse in enthaltene Parameter zerlegt. Dies diente zum einen der Dimensionsreduktion für die spätere Verwendung in den erklärenden Modellen und zum anderen dem Aufdecken von in den Daten vorhandenen Zusammenhängen. Für den Aspekt des Bodens wurden Texturparameter (Ton-, Schluff-, Sandgehalt), die Ackerzahl und der Bodentyp verwendet. Für letzteren wurden nur Bodentypen verwendet, die mit mehr als 5 % im Datensatz vertreten waren. Für die Klimadaten wurden der mittlere Jahresniederschlag, die mittlere Jahrestemperatur (1985 - 2018), deren Werte für die vier Jahreszeiten, sowie die Höhe (m ü. NN) berücksichtigt. Die berechneten Hauptkomponenten wurden anhand ihres Anteils an erklärter Varianz sortiert und solche als

bedeutsam beschrieben und für die Modellierungen verwendet, die gemeinsam bis über 80 % der Varianz erklärten. So wurden sowohl für das Klima an den bayerischen Acker-BDF als auch für die Bodeneigenschaften zwei Hauptkomponenten ermittelt. Für die BDF auf Grünland (ohne Auswertung mit multivariater Regression) wurden direkt die Korngrößenanteile, der mittlere Jahresniederschlag und die mittlere Jahrestemperatur im Beobachtungszeitraum verwendet.

Hauptkomponentenanalyse Klima

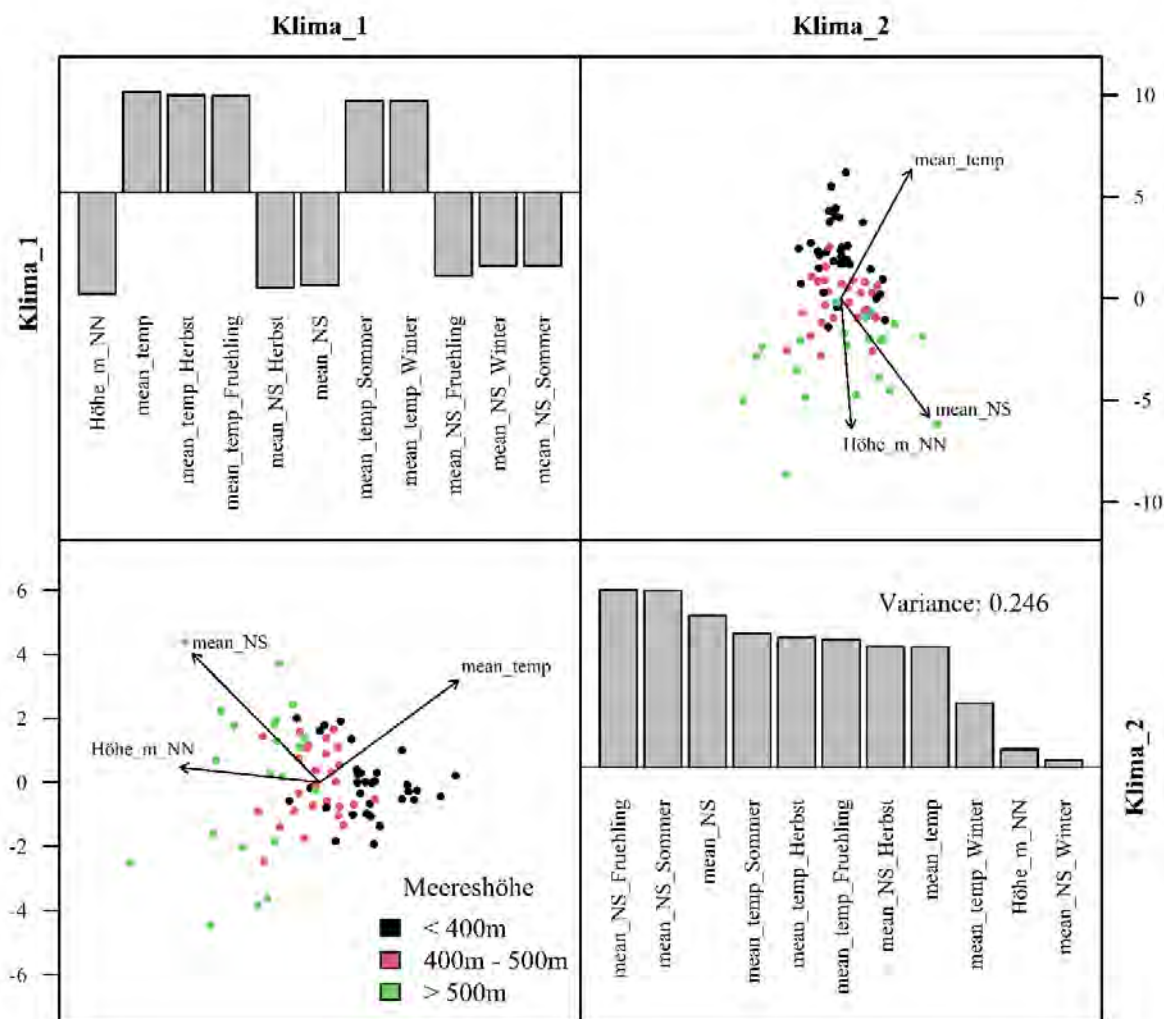


Abb. 9: Hauptkomponenten von Klimacharakteristika (Meereshöhe m ü. NN, Niederschlag NS und Temperatur temp insgesamt und je Jahreszeit). Balken auf der Diagonalen der Matrix entsprechen den Eigenvektoren der Eingangsvariablen; Farben nach drei Klassen der Meereshöhe.

Die Hauptkomponentenanalyse für das Klima auf den Acker-BDF zeigte, dass die erste neue Komponente (Klima_1) 65 % der enthaltenen Varianz erklären konnte (Abb. 9). Sie unterschied im wesentlichen Acker-BDF in den niedriger gelegenen, wärmeren, niederschlagsärmeren Lagen Unterfrankens und entlang der Donau (Abb. 11), von den höheren, kühleren Lagen in Nordosten und Süden Bayerns. Die zweite Klimakomponente (Klima_2) unterscheidet weiter den südlichen Teil Bayerns von den übrigen bayerischen Acker-BDF, unabhängig von der Höhenlage, wobei hier besonders höhere Niederschläge (besonders im Frühling und Sommer), sowie auch höhere Temperaturen ausschlaggebend sind.

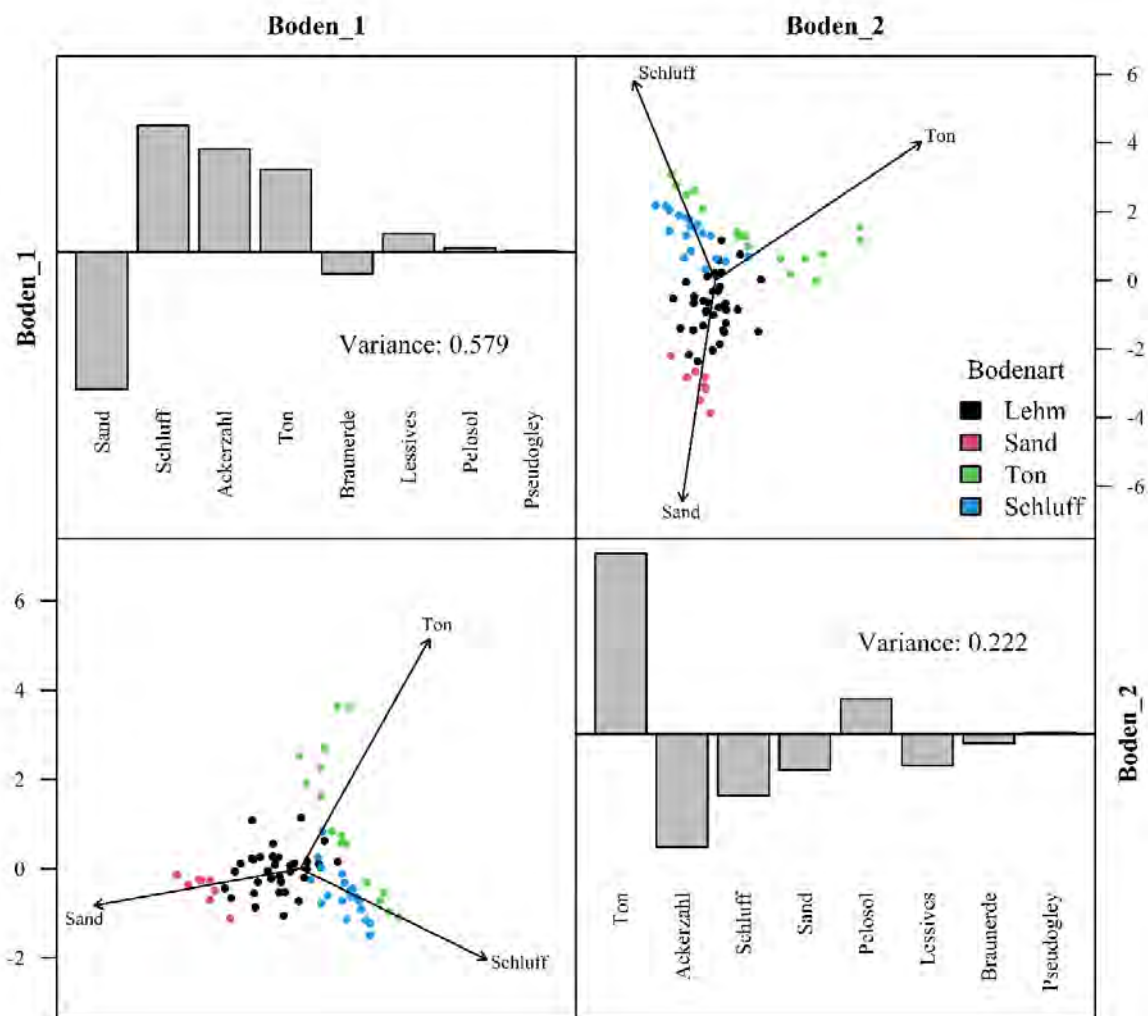


Abb. 10: Hauptkomponenten der Bodeneigenschaften (Sand-, Schluff-, Tongehalte, Ackerzahl, Bodentypen (Gruppen mit mehr als 5 Acker-BDF, Ackerzahl)). Balken auf der Diagonalen der Matrix entsprechen den Eigenvektoren der Eingangsvariablen, Farben nach Hauptbodenart.

Die Hauptkomponentenanalyse für den Boden auf den Acker-BDF zeigte einen Anteil von erklärter Varianz von 58 % für die erste Hauptkomponente (Abb. 10). Diese als Boden_1 bezeichnete Variable, differenzierte vorwiegend entlang der Sand- und Schluff-Gehalte des Bodens, wobei mit letzterem auch der Tongehalt und die Ackerzahl verbunden waren. In Bayern waren die Werte besonders hoch in den Lößgebieten des Tertiären Hügellandes und den übrigen Gäulagen (Dungau, Ochsenfurter Gäu, Gäulagen im Ries, Tauber-Gäuplatten, u.a.). Die niedrigsten Werte fanden sich auf Sandböden im Mittelfränkischen Becken, im Oberpfälzer Becken, bei Kitzingen und im Ries. Im vereinfachten Sinn kann diese Hauptkomponente also als die Bodengüte von leichten, sandigen Böden hin zu schluffigen ertragsreichen interpretiert werden. Die zweite Komponente (Boden_2) erklärt 22 % der Varianz und unterscheidet zusätzlich tonige Böden (Pelosole und Böden mit hohen Tongehalten, bei verhältnismäßig eher geringeren Ackerzahlen, Abb. 10). Im Wesentlichen fielen hierbei fünf tonhaltige Acker-BDF in Franken (Frankenalb, Gipskeuper u.a.) auf.

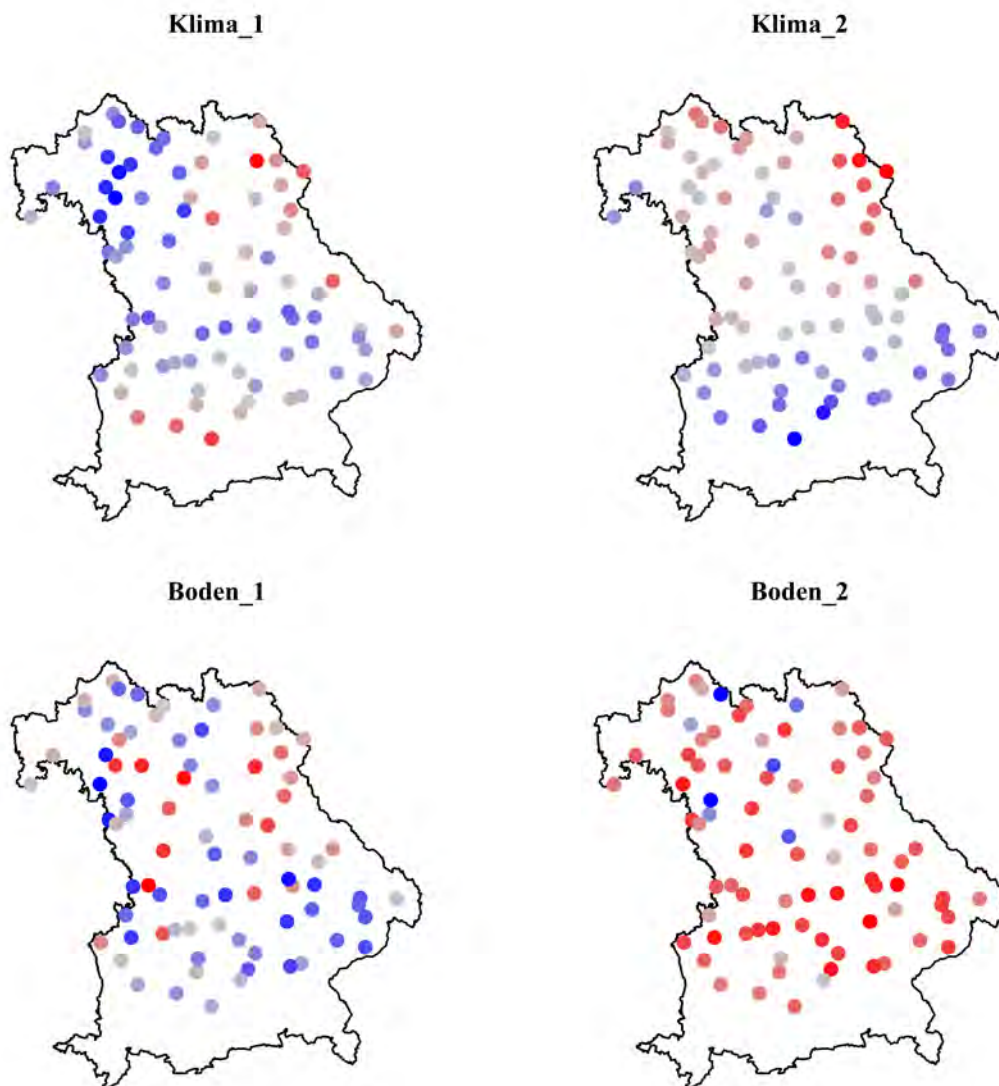


Abb. 11: Verteilung der ermittelten Hauptkomponenten für Klima und Bodeneigenschaften auf den bayerischen Acker- BDF (Farbskala von rot - negativ über grau nach blau - positiv).

4.9 Übersicht über ermittelte Standort- und Bewirtschaftungsmerkmale der BDF

Tab. 20: Übersicht über die verwendeten Parameter, deren Kurz-Bezeichnung und Beschreibung der Parameter

Bezeichnung	Beschreibung
Standortparameter	
Boden_1	Hauptkomponente I, beschreibt Gradient von sandigen Böden mit niedriger Ackerzahl zu schluffigen mit hoher Ackerzahl
Boden_2	Hauptkomponente II, beschreibt den Tongehalt der Acker BDF
Klima_1	Hauptkomponente I, beschreibt den Gradienten von tiefer gelegenen, trockeneren und wärmeren Lagen zu höher gelegenen, kühleren, niederschlagsreichen Lagen
Klima_2	Hauptkomponente II, beschreibt stärker unabhängig von der Höhe den Gradienten von geringeren Niederschlägen und Temperaturen zu höheren Temperaturen und Niederschlägen
Bewirtschaftungsparameter	
WG	Anteil Jahre mit Wintergetreide am gesamten Beobachtungszeitraum
SG	Anteil Jahre mit Sommergetreide am gesamten Beobachtungszeitraum
Getreide	Anteil Jahre mit Getreide am gesamten Beobachtungszeitraum
Raps	Anteil Jahre mit Raps und sonstigen Ölfrüchten am gesamten Beobachtungszeitraum
Körnermais	Anteil Jahre mit Körnermais am gesamten Beobachtungszeitraum
Silomais	Anteil Jahre mit Silomais am gesamten Beobachtungszeitraum
Mais	Anteil Jahre mit Mais (Körner- und Silomais) am gesamten Beobachtungszeitraum
Mais_Wechsel	Zu-/Abnahme des Maisanbaus im Beobachtungszeitraum festgestellt
Kartoffeln	Anteil Jahre mit Kartoffeln am gesamten Beobachtungszeitraum
Zuckerrüben	Anteil Jahre mit Zuckerrüben am gesamten Beobachtungszeitraum
Hackfrucht	Anteil Jahre mit Hackfrüchten (alle Hackfrüchte incl. Mais) am gesamten Beobachtungszeitraum
Hackfrucht_ohneMais	Anteil Jahre mit Hackfrüchten (Mais ausgenommen) am gesamten Beobachtungszeitraum
Leguminosen	Anteil Jahre mit Körnerleguminosen am gesamten Beobachtungszeitraum
KleeGras	Anteil Jahre mit KleeGras oder anderem zum Teil mehrjährigem, rasenbildendem Ackerfutter am gesamten Beobachtungszeitraum
Stilllegung	Anteil Jahre mit stillgelegten Ackerflächen am gesamten Beobachtungszeitraum
Winter.ZWF	Anteil Jahre mit Zwischenfruchtanbau über den Winter (Aussaat im Herbst, Umbruch/Bearbeitung im folgenden Jahr nach dem Winter) am gesamten Beobachtungszeitraum
Winter.ZWF_Wechsel	Zu-/Abnahme des Winterzwischenfruchtanbaus im Beobachtungszeitraum festgestellt
Zwischenfrucht	Anteil Jahre mit allen Formen des Zwischenfruchtanbaus (Umbruch/Bearbeitung vor oder nach dem Winter) am gesamten Beobachtungszeitraum
Zwischenfrucht_Wechsel	Zu-/Abnahme des Zwischenfruchtanbaus im Beobachtungszeitraum festgestellt

ErnteR	Anteil der Jahre am gesamten Beobachtungszeitraum, in denen Ernterückstände auf dem Feld verbleiben
Stroh	Anteil der Jahre am gesamten Beobachtungszeitraum, in denen Stroh (Getreide, Raps, Körnermais) nach der Ernte auf dem Feld verbleibt
Stroh_Wechsel	Zunahme beim Verbleib von Getreidestroh auf dem Feld im Beobachtungszeitraum festgestellt
pfluglos	Anteil der Jahre am gesamten Beobachtungszeitraum, in denen nicht gepflügt wurde (wendende Bodenbearbeitung)
pfluglos_Wechsel	Zu-/Abnahme der pfluglosen Bodenbearbeitung im Beobachtungszeitraum festgestellt
letztes_Pflügen	Anzahl an Jahren seit dem letzten Pflügen
orgDünger	Anteil der Jahre mit organischer Düngung am gesamten Beobachtungszeitraum
orgDünger_Wechsel	Zu-/Abnahme der organischen Düngung im Beobachtungszeitraum festgestellt
Öko.Landbau	Anteil der Jahre mit Ökolandbau als Betriebsform am gesamten Beobachtungszeitraum
Schweinehalter	Anteil der Jahre mit Schweinehaltung im Betrieb am gesamten Beobachtungszeitraum
Rinderhalter	Anteil der Jahre mit Rinderhaltung im Betrieb am gesamten Beobachtungszeitraum
Viehhaltung	Anteil der Jahre mit Viehhaltung (alle Tierarten) im Betrieb am gesamten Beobachtungszeitraum

5 Standortbeschreibung und Repräsentativität für Bayern

5.1 Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern

Die Standortkundliche Landschaftsgliederung (Wittmann, 1991) teilt die unterschiedlichen Naturräume Bayerns nach ihrer das Pflanzenwachstum bestimmenden Naturraumausstattung in 121 Landschaftseinheiten (LE) und 15 Hauptlandschaftseinheiten (HLE) ein. Die Einteilung orientiert sich dabei an boden-, klima- und reliefabhängigen Standortverhältnissen, wie Geologie und Bodenarten, insbesondere Lößlehmanteil in den Landschaften, Niederschläge, Temperatur und Vegetationszeiten, Neigungsstufen landwirtschaftlicher Flächen, Fließgewässerdichte, dem Ertragspotenzial landwirtschaftlicher Flächen, sowie der land- und forstwirtschaftlichen Bodennutzung.

Bei der Ersteinrichtung der BDF in den Jahren 1985/86 verfolgte man das Ziel in möglichst jeder Landschaftseinheit eine Dauerbeobachtungsparzelle einzurichten, um die unterschiedlichen landwirtschaftlichen Anbauverhältnisse in Bayern abzubilden (Abb. 12).

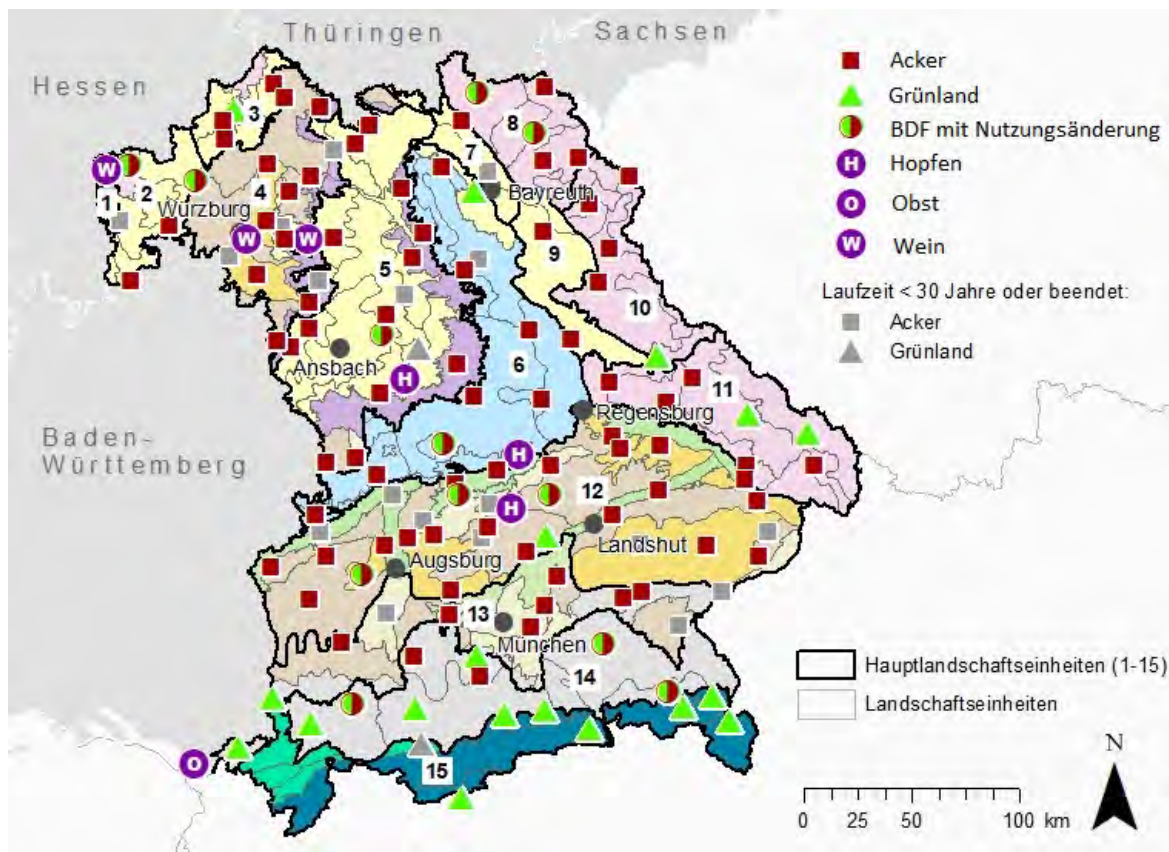


Abb. 12: BDF (Stand 2018) in den (Haupt-)Landschaftseinheiten der Standortkundlichen Landschaftsgliederung nach Wittmann, 1991 (vergl. Tab. 21), (Geobasisdaten: NUTS 2013)

Acker

Die 80 ausschließlich als Acker genutzten BDF liegen in 67 von 111 für den Ackerbau relevanten Landschaftseinheiten (mit > 100 ha Ackerfläche (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018)). Bayernweit liegen 78 % aller Ackerflächen in den Landschaftseinheiten, in denen Acker-BDF eingerichtet wurden. Schwerpunktgebiete des Ackerbaus sind dabei die Lößgebiete des Tertiärhügellands mit Iller-Lechplatte und Donautal (HLE 12) sowie das

Lößgebiet der „Fränkischen Platten“ (HLE 4) um Würzburg (Abb. 13, Tab. 21). In beiden Landschaften macht der Ackerbau bezogen auf die gesamte Fläche die Hälfte der Landnutzung aus, während in den Mittelgebirgslandschaften und im Alpenvorland (HLE 2, 11 und 14) der Ackeranteil nur bei einem Zehntel der Landesfläche liegt.

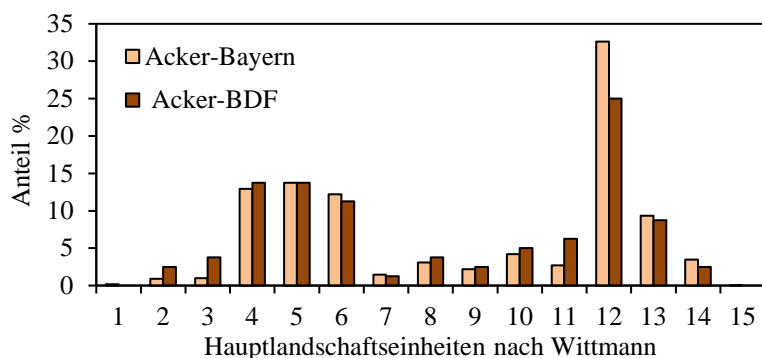


Abb. 13: Verteilung der Ackerflächen in den Hauptlandschaftseinheiten 1-15 (vergl. Tab. 21) für die BDF im Vergleich zur gesamten Ackerfläche von Bayern (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018)

Tab. 21: Übersicht über die Hauptlandschaftseinheiten und die Verteilung der 80 Acker-BDF sowie der gesamten Ackerfläche in Bayern (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018)

Nr.	Hauptlandschaftseinheiten nach Wittmann	Acker in Bayern 2018		Acker-BDF	
		(ha)	(%)	(n)	(%)
1	Rhein-Main-Niederung	3.610	0,2	-	0,0
2	Spessart-Odenwald	17.870	0,9	2	2,5
3	Rhön	20.250	1,0	3	3,8
4	Fränkische Platten	262.100	13,0	11	13,8
5	Fränkisches und Schwäbisches Keuper-Lias-Land	277.910	13,7	11	13,8
6	Fränkische und Schwäbische Alb	246.640	12,2	9	11,3
7	Obermain-Schollenland	29.320	1,4	1	1,3
8	Frankenwald Fichtelgebirge und Vogtland	62.570	3,1	3	3,8
9	Oberpfälzer Becken und Hügelland	44.290	2,2	2	2,5
10	Oberpfälzer Wald	84.880	4,2	4	5,0
11	Bayerischer Wald	54.220	2,7	5	6,3
12	Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal	660.190	32,6	20	25,0
13	Schwäbisch-Bayer. Schotterplatten und Altmoränen	189.110	9,3	7	8,8
14	Schwäb.-Bayer. Jungmoräne und Molassevorberge	70.150	3,5	2	2,5
15	Bayerische Alpen	330	0,0	-	0,0
Gesamt		2.023.440		80	

Die Verteilung der BDF auf die Haupt-Landschaftseinheiten repräsentiert auch nach der Aufgabe mehrerer BDF die Verteilung der Ackerfläche in Bayern. Ein deutlicher Unterschied der Anteile ist mit Hilfe des Chi² Tests nicht nachzuweisen (Chi²: 14,4; p-Wert: 0,34; zur Methode vergl. Kapitel 4.5 Repräsentativität der Stichprobe). Lediglich der hohe Anteil der Landschaftseinheit 12 (Tertiärhügelland, Iller-Lechplatte und Donautal) am gesamten Ackerland in Bayern (32,6 %) wird im BDF-Programm nicht vollständig abgebildet. Dafür sind BDF auf den Mittelgebirgs-Landschaftseinheiten 2 (Spessart-Odenwald), 3 (Rhön) und 11 (Bayerischer Wald) etwas stärker vertreten als es die Verteilung des Ackerlandes gefordert hätte. Das Fehlen von Acker-BDF in der Standorteinheit 1 (Rhein-Main-Niederung) ist angesichts der insgesamt flächenmäßig untergeordneten Bedeutung dieser Region für die Repräsentanz des Bodendauerbeobachtungsprogramms vertretbar. In den Bayerischen

Alpen (Landschaftseinheit 15) findet aufgrund ungünstiger Anbaubedingungen nahezu kein Ackerbau statt.

Grünland

Die 18 Grünlandstandorte im BDF-Programm verteilen sich auf 16 der 121 Landschaftseinheiten. Die Grünland-BDF wurden schwerpunktmäßig in den Bayerischen Alpen (HLE 15) und den Schwäbisch-Bayerischen Jungmoränen und Molassevorbergen (HLE 14), dessen Landnutzung zu fast 40 % durch Grünland geprägt ist, angelegt. Die übrigen Grünland-BDF verteilen sich auf weitere Mittelgebirgslandschaften (HLE 3, 6, 10 und 11). Nur ein Grünlandstandort befindet sich im überwiegend ackerbaulich genutzten Tertiärhügelland (Abb. 14, Tab. 22).

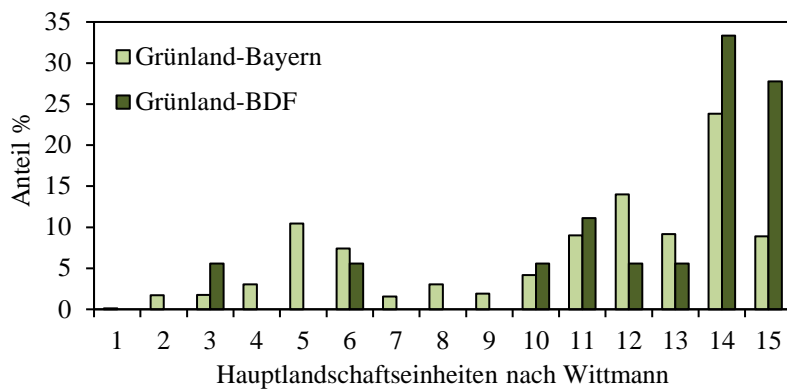


Abb. 14: Verteilung der als Grünland genutzten Flächen in den Hauptlandschaftseinheiten 1-15 (vergl. Tab. 22) für die BDF im Vergleich zur gesamten Grünlandfläche von Bayern

Tab. 22: Übersicht über die Hauptlandschaftseinheiten und die Verteilung der Grünland-BDF, sowie der gesamten Grünlandfläche in Bayern (Stand 2018)

Nr.	Hauptlandschaftseinheiten nach Wittmann	Grünland in Bayern 2018		Grünland-BDF	
		(ha)	(%)	(n)	(%)
1	Rhein-Main-Niederung	1.120	0,1	-	0,0
2	Spessart-Odenwald	19.160	1,7	-	0,0
3	Rhön	19.570	1,8	1	5,6
4	Fränkische Platten	33.680	3,0	-	0,0
5	Fränkisches und Schwäb. Keuper-Lias-Land	116.270	10,5	-	0,0
6	Fränkische und Schwäbische Alb	82.290	7,4	1	5,6
7	Obermain-Schollenland	17.380	1,6	-	0,0
8	Frankenwald Fichtelgebirge und Vogtland	33.600	3,0	-	0,0
9	Oberpfälzer Becken und Hügelland	21.070	1,9	-	0,0
10	Oberpfälzer Wald	46.350	4,2	1	5,6
11	Bayerischer Wald	100.250	9,1	2	11,1
12	Tertiärhügelland Iller-Lechplatte und Donaual	155.400	14,1	1	5,6
13	Schwäbisch.-Bayerische Schotterplatten und Altmoränenlandschaft	101.710	9,2	1	5,6
14	Schwäbisch-Bayerische Jungmoräne und Molassevorberge	264.830	24,0	6	33,3
15	Bayerische Alpen	98.810	8,9	5	27,8
Gesamt		1.111.490		18	

In den 16 Landschaftseinheiten mit Grünland-BDF kommen trotz Schwerpunkt der Monitoring-Flächen im „Grünlandgürtel“ des Alpenvorlands nur 36 % des bayernweiten Grünlands vor. Abb. 14 zeigt, dass die Grünland-BDF in den Bayerischen Alpen (Landschaftseinheit 15) überrepräsentiert sind. Dagegen sind zahlreiche auch klimatisch und geologisch deutlich differenzierte Landschaftseinheiten wie z.B. in Oberfranken nicht vertreten. Die Landschaftseinheit 5 (Fränkisch-Schwäbisches Keuper-Lias-Land), die immerhin 10,5 % des bayerischen Grünlands umfasst, wird mit den Grünland-BDF nicht berücksichtigt. Eine signifikante Abweichung der Verteilung der BDF von der Verteilung der Grünlandflächen auf die Landschaftseinheiten (χ^2 : 14,7; p-Wert: 0,31) ist jedoch angesichts der geringen Stichprobengröße nicht nachzuweisen.

5.2 Geologie

Die Geologie von Bayern bildet mehr als 600 Millionen Jahre Erdgeschichte ab. Die Geologische Übersicht von Bayern, veröffentlicht vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU, 2020a), teilt die Landesfläche je nach tektonischer Zugehörigkeit in die Großbaueinheiten Alpen, Molassebecken, Schichtstufenland und Grundgebirge ein, Sedimente aus dem Quartär überlagern diese zum Teil (Doppler et al., 2004).

Die ältesten, metamorphen und magmatischen Gesteine des Grundgebirges treten im Spessart und Nordostbayern an die Oberfläche, während der größte Teil von Bayern von jüngeren Gesteinsarten bedeckt ist. Von der Donau bis Aschaffenburg erstreckt sich das Schichtstufenland mit einer Abfolge von Sedimentgesteinen, die während des Mesozoikums, dem Erdmittelalter, entstanden sind. Seit dem Oberkarbon vor etwa 300 Millionen Jahren bis ins Tertiär vor 3 Millionen Jahren entstanden durch Meeres- und Flussablagerungen und Erosion bei stetig wechselnden klimatischen Bedingungen unter Meeresvorstößen und Rückzügen Sedimentschichten unterschiedlichen Ursprungs, die heute, durch tektonischen Druck um einige Grad gekippt, als Stufen in der Landschaft sichtbar sind. Der Kessel des Nördlinger Ries, entstanden durch einen Meteoriteneinschlag im Tertiär, unterbricht diese geologische Abfolge. Kraterfüllmaterial und Auswurfmasse prägen das Umfeld der Einschlagstelle.

Südlich der Donau bildete sich den Alpen vorgelagert, im Zeitalter des Tertiärs das Molassebecken, das abwechselnd mit Meerwasser und Süßwasser gefüllt war. Vorwiegend aus den Alpen gelangte Schutt, Kies und Sand in die Ebene, die das heutige Tertiärhügelland bilden.

Die jüngste geologische Überformung erfuhr die Landschaft schließlich im Quartär in Folge von mehreren trocken-kalten Eiszeiten im Wechsel mit feucht-wärmeren Interglazialzeiten. Die letzte Eiszeit, die Würm-Eiszeit endete mit Beginn des Holozäns vor etwa 11.700 Jahren. Die Moränenlandschaften des Voralpenlandes, Flussschotterebenen, aber auch teils mächtige Flugsand- und Lößablagerungen sind Zeugen dieser Epoche.

Während und vor allem mit Ende der Würmeiszeit wurde Gesteinsmehl der Gletscher vom Wind verlagert und teilweise als mächtige Lössablagerungen in den heutigen Gäulandschaften oder als besonders im Oberboden feststellbarer Schleier abgelagert.

Der geologische Untergrund beeinflusst die Ausprägung der landwirtschaftlichen Nutzung, unter anderem durch im Laufe der Bodenbildung teilweise angereicherte oder umgewandelte geogene Stoffe (Tonminerale, Quarzsand), aber auch durch die Ausprägung bestimmter Reliefformen und Sedimentschichten, die das Wasserregime prägen.

Eine Übersicht über den geologischen Aufbau Bayerns und die Lage der BDF bietet Abb. 15. Als Grundlage bei der Zuordnung der Acker- und Grünlandflächen (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018) zu den geologischen Einheiten diente die höher aufgelöste Geologische Karte 1:500.000 (GK500, Umweltatlas Bayern, LfU, 2020b), deren Haupteinheiten den Gruppen der Übersichtskarte zugeordnet wurden.

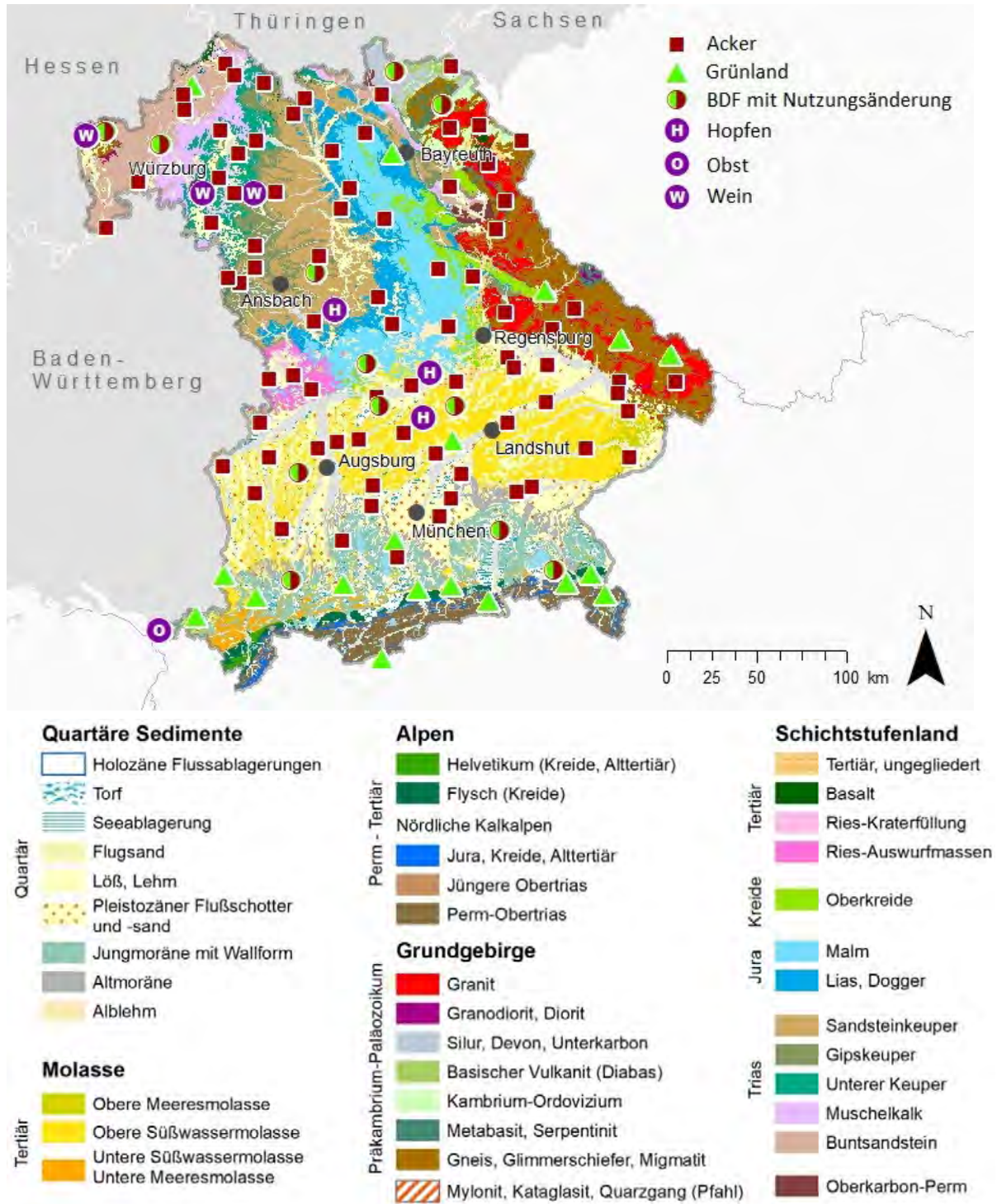


Abb. 15: Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a) mit der Lage der aktuellen BDF (Stand 2018; Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodatenonline.bayern.de)

Acker

Im Bereich der oberen Süß- und Meerwassermolasse, die das Tertiärhügelland formt, befinden sich 11 % der ausschließlich als Acker genutzten BDF und 15 % der bayernweiten Ackerflächen (Abb. 16).

Lössanwehungen und Fließerden aus Löss und dem anstehenden Material, die das Molasseecken zum Teil überlagern, bilden Standorte für 40 % der Acker-BDF sowie des Ackerlands in ganz Bayern. Schwerpunkte des Ackerbaus befinden sich vor allem in den Lößlehmgebieten und den durch Flusschotter und -sande geprägten Niederterrassen nördlich der Jung- und Altmoränen-Landschaft.

36 % der Acker-BDF und der bayernweiten Ackerflächen kommen im fränkischen Schichtstufenland nördlich der Donau vor, mit vergleichbarem Schwerpunkt im Jura (v.a. Malm) und Keuper. Weitere 10 Acker-BDF (13 %) liegen im Bereich des Grundgebirges vor allem auf Untergrund aus Gneis und Glimmerschiefer. Die übrigen 9 % der bayernweiten Ackerflächen dagegen verteilen sich im Bereich des nordostbayerischen Grundgebirges zusätzlich auf die übrigen geologischen Einheiten wie Granite oder Gesteine aus Kambrium und Unterkarbon. Die Alpen spielen als Ackerstandort keine Rolle.

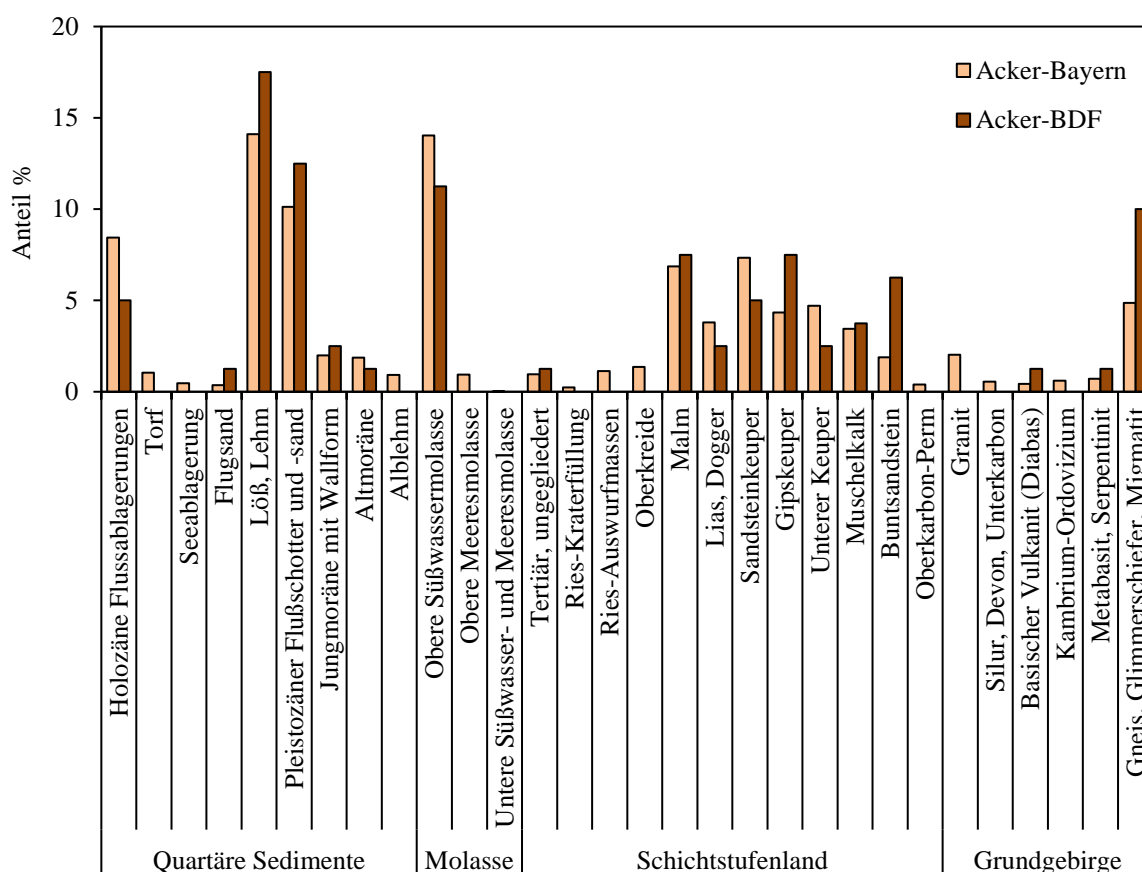


Abb. 16: Verteilung der Ackerstandorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern über die geologischen Haupteinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a; Doppler et al., 2004), InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Die geologischen Großbaueinheiten sind durch die BDF entsprechend der bayernweiten Verteilung der Ackerflächen repräsentiert (keine signifikanten Abweichungen; χ^2 : 1,6; p-Wert: 0,68). Differenziert man diese nach den vorkommenden geologischen Haupteinheiten, bilden die Acker-BDF überwiegend die Einheiten repräsentativ ab, die auch bayernweit

flächenmäßig (mit je über 3 % Flächenanteil) von Bedeutung sind. Unterrepräsentiert sind Standorte auf holozänen Ablagerungen im Auenbereich von Flüssen und Seen (-3 %), überproportional häufig sind Standorte auf Buntsandstein in Unterfranken (+4 %) und Gneisen (Fichtelgebirge und Bayerischer Wald, +5 %) vertreten.

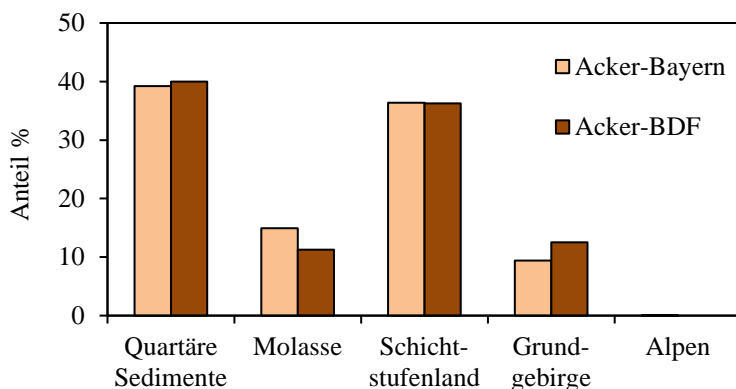


Abb. 17: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach geologischen Großbaueinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a, InVeKoS Auswertungsjahr 2018))

Grünland

Ein Großteil (67 %) der Grünland-BDF liegt im Bereich Quartärer Sedimente, davon die meisten (8) in der voralpinen Jungmoränenlandschaft, weitere 4 im Bereich von Flussschotter, Fluss- und Seenablagerungen und Altmoränen. Jeweils zwei Grünland-Standorte (je 11 %) verteilen sich auf die übrigen geologischen Großbaueinheiten außerhalb der Alpen. Im Grundgebirge Ostbayerns gibt es zwei Standorte im Gneis und Granit, im Schichtstufenland am Nordrand der Fränkischen Alb im „Schwarzen Jura“ und in einem lokal begrenzten Muschelkalkgebiet der Rhön. Im Bereich der Molasse liegt eine Grünland-BDF am Alpenrand im Bereich der unteren Meeressmolasse, ein weiterer Standort in der für das Tertiärhügelland typischen Oberen Süßwassermolasse (Abb. 19).

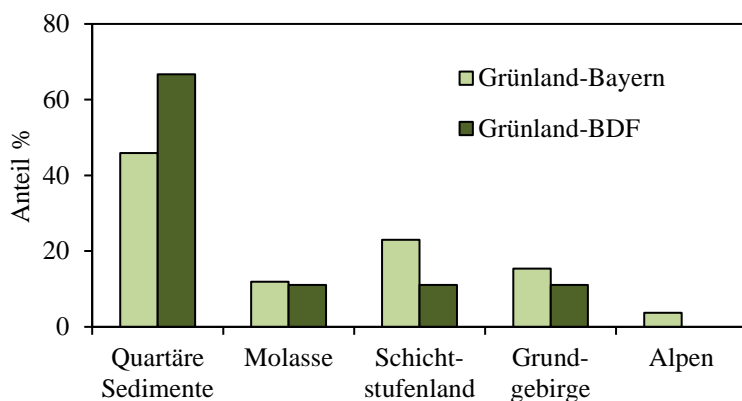


Abb. 18: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche in Bayern nach den geologischen Großbaueinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a, InVeKoS Auswertungsjahr 2018))

Die bayernweite Verteilung des Grünlands hat ihren Schwerpunkt (46 %) ebenfalls im Bereich der Quartären Sedimente (Abb. 18), gefolgt von 23 % der bayernweiten Grünlandfläche im Schichtstufenland, 15 % im Grundgebirge und 12 % in der Vorlandmolasse (keine signifikanten Abweichungen; χ^2 : 3,7; p-Wert: 0,43).

Aufgrund der geringen Anzahl an BDF-Grünlandstandorten sind viele geologische Haupt-einheiten nicht durch BDF vertreten. Die flächenmäßig größten (bayernweit über 4 % Flächenanteil im Grünland) sind mit ein bis zwei Monitoring-Standorten vertreten. Deutlich überrepräsentiert ist das Grünland im Bereich der Jungmoränen. Auch die Alm-BDF auf 1136 m ü. NN liegt auf einer Jungmoräne mit Wallform. Sie wird allerdings von Liasbasis-kalk und Hauptdolomit, Gesteinen, die zu den Alpen gerechnet werden, unmittelbar umgeben.

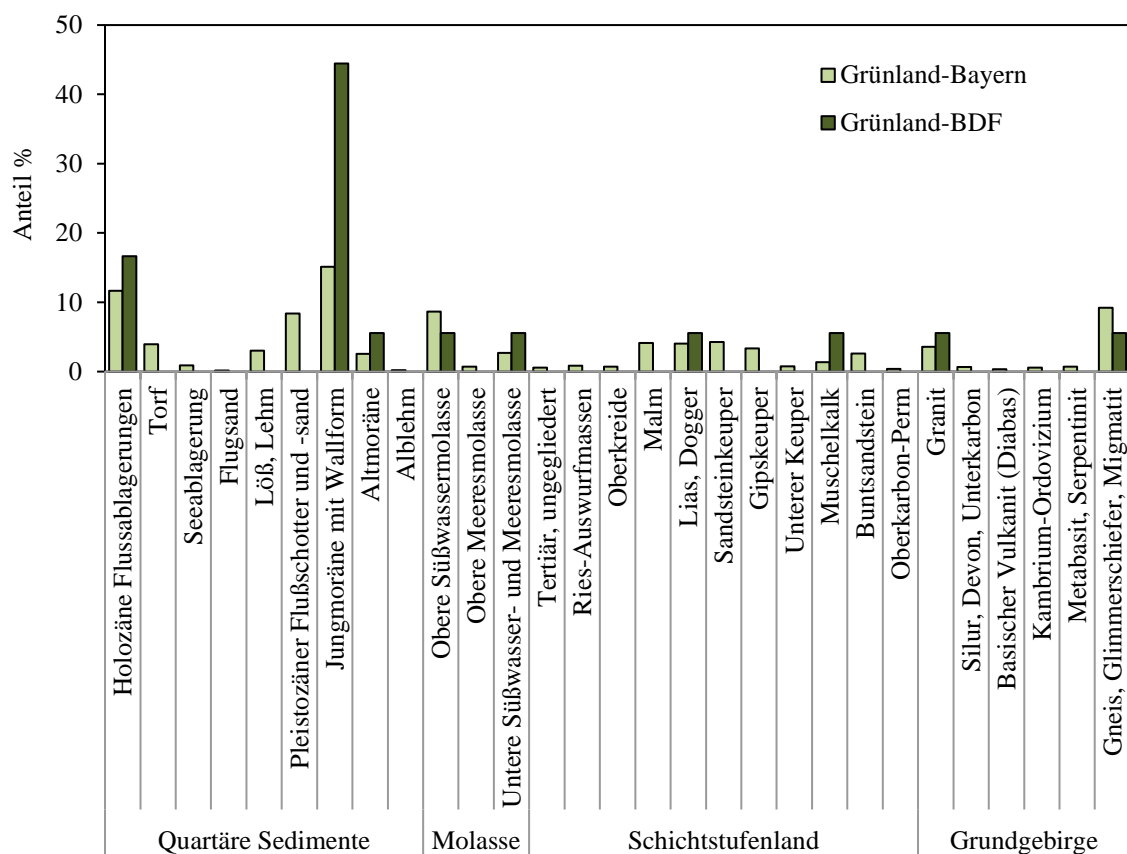


Abb. 19: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche in Bayern nach geologischen Haupteinheiten (Geologische Übersicht von Bayern (LfU, 2020a; Doppler et al., 2004), InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

5.3 Boden

Während die Geologie den Untergrund, also die Ausgangsbedingungen für die Bodenbildung beschreibt, sind die Böden als oberste Schicht der Erdkruste das Produkt aus Verwitterung und Erosion der Ausgangsgesteine, Umlagerung, hydrochemischer Prozesse und biologischer Aktivität. Große Bedeutung für die landwirtschaftliche Nutzung kommt dem Löss als Verwitterungsprodukt zu, der verbreitet die Beschaffenheit des Oberbodens prägt und in Fließerden auch im Untergrund eingearbeitet sein kann. Je nach Verwitterungsgrad und zusätzlicher Umwelteinflüsse lassen sich unterschiedliche Bodentypen und Bodenarten beschreiben, die die Ertragsfähigkeit der Standorte entscheidend bestimmen.

5.3.1 Bodentypen (ÜBK 25)

Bei der Verwitterung von Gesteinen entstehen Bodenhorizonte mit unterschiedlicher Zusammensetzung und Färbung. Von der Erdoberfläche bis zum anstehenden Gestein bilden die Bodenhorizonte typische Abfolgen, die als „Bodentypen“ beschrieben werden. Auf einen humosen Horizont an der Oberfläche folgen in der Regel weitere Horizonte, deren Verwitterungsgrad mit zunehmender Tiefe abnimmt. Die Bodenhorizonte können außerdem gekennzeichnet sein durch unterschiedliche Mächtigkeit, durch Verlagerung von feinen Bodenpartikeln und mineralischen Stoffen aus oberen Horizonten in tiefere, durch Stauwasser oder durch anstehendes Grundwasser und Sauerstoffentzug. Eine Übersicht über die

Verbreitung der Bodentypen in Bayern bietet die Übersichtsbodenkarte 1:25.000 (ÜBK) des Landesamtes für Umwelt (LfU, 2020c). Die Kartiereinheiten der ÜBK weisen im Legendentext die vorkommenden Bodentypen und deren Häufigkeit aus. Die Bodentypen lassen sich je nach Wasserregime und Entwicklungszustand in bodensystematische Klassen einteilen (Sponagel et al., 2005). Die Bodentypen der BDF-Standorte wurden anhand eines freigelegten Bodenprofils direkt neben der Beobachtungsparzelle bestimmt.

Zu den semiterrestrischen Grundwasserböden zählen Auenböden (A) und Gleye (G). Alle übrigen landwirtschaftlich genutzten Bodenklassen in Bayern gehören in die Abteilung der terrestrischen Böden, bei denen der Grundwasserabstand zur Oberfläche mindestens einen Meter beträgt. O/C-Böden (F), Rohböden (O) und A/C-Böden (R) besitzen eine Humusauf- lage oder einen A-Horizont über festem oder lockerem Ausgangsgestein und werden mit Ausnahme der Pararendzinen häufig als Grünland- oder Waldstandorte genutzt. Braunerden (B) besitzen unter dem A- einen verbraunten B-Horizont und gehen aus A/C-Böden hervor. Je nach Ausgangsgestein und Entwicklungstiefe variieren die Eigenschaften von Braunerden und ihre landwirtschaftliche Nutzbarkeit stark. Parabraunerden (L), gekennzeichnet durch Tonverlagerung aus dem oft mächtigen A- in den B-Horizont bilden in den Lössland- schaften in Bayern häufig günstige Ackerstandorte. Die tonreiche Terra fusca (C) dagegen ist in Bayern nur vereinzelt verbreitet und als schwerer Boden nur bedingt für den Ackerbau nutzbar. Ungünstig wirkt sich bei Pelosolen (D) der hohe Tongehalt im Unterboden aus, dessen Polyedergefüge bei Trockenheit zu Rissbildung neigt. Podsole (P) als typische sandig-saure Heideböden mit Bleichhorizont, sind in Bayern nur gering verbreitet und meist waldbaulich genutzt. Bei den Stauwasserböden (S), zu denen unter landwirtschaftlicher Nutzung vor allem die Pseudogleye gehören, sind die wechselnd hohen Wasserstände nicht durch Grundwasser, sondern durch angestautes Regenwasser bedingt, das sich über einem dicht gelagerten Staukörper in einer nassgebleichten, rostfleckigen Stauzone sammelt. Anthropogene Böden (Y) entstanden unter menschlichem Einfluss aus ursprünglichen Bo- dentypen. Typisch für Kolluvisole sind Umlagerungen von Bodenschichten durch Wasser- oder Winderosion bei Ackernutzung. Moore (H) mit reinem Humuskörper bilden eine ei- gene Abteilung (Scheffer et al., 2010).

Acker

Über die Hälfte der bayerischen Ackerböden sind Braunerden unterschiedlicher Entstehung und weitem ökologischen Spektrum von sauer bis leicht alkalisch, von sandig bis tonigem Lehm, ebenso wie flachgründig bis tiefgründig. Auch bei den Acker-BDF bilden die Braunerden die Hälfte der vorkommenden Bodentypen. Am zweithäufigsten kommen auf Acker-BDF Parabraunerden (20 %) vor, die zwar in den Lössgebieten verbreitet sind, bayernweit aber nur 8 % der Ackerfläche ausmachen. Am zweithäufigsten findet man in Bayern Bo- dentypen mit Ah/C-Profil (13 %), v.a. Pararendzinen, die unter den Acker-BDF fehlen. Dort kommen Stauwasserböden mit einem Anteil von 11 % vor, bayernweit machen diese gut 5 % an der Ackerfläche aus. Unter den terrestrischen Böden bilden Terra fusca, Podsol, Pelosol und anthropogene Böden zusammen gut 6 % der Ackerfläche in Bayern. Den glei- chen Anteil bilden die Pelosole bei den Acker-BDF, wobei die übrigen Bodentypen nicht vertreten sind. Die Grundwasser beeinflussten Auenböden und Gleye bilden bayernweit 11 % und bei den Acker-BDF 9 % der Bodentypen (Abb. 20).

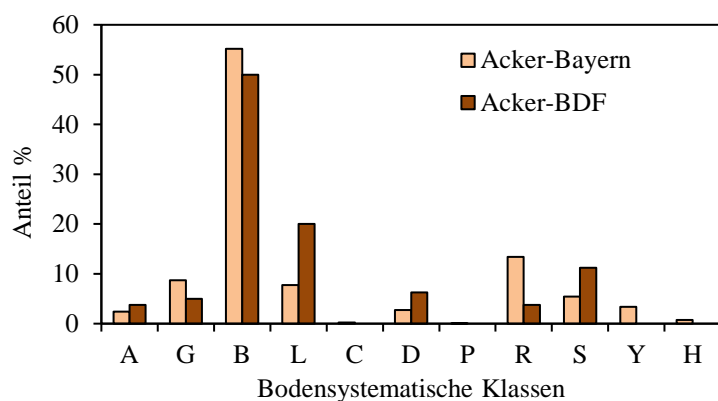


Abb. 20: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach bodensystematischen Klassen der KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Außer bei den Braunerden mit ihrem weiten Spektrum an Bodeneigenschaften sind die bayernweit vorkommenden Bodentypen unter Ackernutzung durch die Acker-BDF oft über- oder unterrepräsentiert oder gar nicht vertreten. So bestehen nachweisbare Unterschiede der Acker-BDF zur bayernweiten Verteilung hinsichtlich der Bodentypen aus der ÜBK (χ^2 : 35,4; p-Wert: 0,03). Zu den überrepräsentierten Bodentypen gehören Parabraunerden und Pseudogleye, was dennoch statistisch vertretbar ist, da diese Bodentypen auch bayernweit flächenmäßig von Bedeutung sind. Durch das BDF-Programm unterrepräsentierte Bodentypen mit bayernweitem Flächenanteil von mehr als 5 % sind Gleye und Pararendzinen (Tab. 23).

Tab. 23: Übersicht zur Verteilung der Acker-BDF und der gesamten Ackerflächen in Bayern über die bodensystematischen Klassen und Bodentypen nach KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Klasse	Bodentypen	Acker in Bayern 2018		Acker-BDF	
		(ha)	(%)	(n)	(%)
Grundwasserböden					
A Auenböden	Vega	20.994	1,0	3	3,8
	Kalkpaternia	26.876	1,3	-	
	Sonstige Auenböden	342	< 0,1	-	
G Gleye	Gley	149.891	7,4	3	3,8
	Nassgley	2.144	0,1	-	
	Anmoor-, Moorgley	24.436	1,2	1	1,3
Terrestrische Böden					
B Braunerden	Braunerde	1.116.835	55,2	40	50,0
L Lessives	Parabraunerde	157.306	7,8	16	20,0
C Terra calcis	Terra fusca	4.518	0,2	-	
D Pelosole	Pelosol	55.381	2,7	5	6,3
P Podsole	Podsol	760	< 0,1	-	
R Ah/C-Böden	Pararendzina	146.346	7,2	-	
	Rendzina	58.057	2,9	2	2,5
	Regosol	66.351	3,3	1	1,3
	Ranker	536	< 0,1	-	
S Stauwasserböden	Pseudogleye	109.460	5,4	9	11,3
Y Anthropogene Böden	Kolluvisol, Rigosol	66.414	3,3	-	
	Kippenböden u.ä.	1.372	0,1	-	
Moorböden					
H Moore	Niedermoor	15.267	0,8	-	
Gesamt		2.023.347		80	

Grünland

Auch beim Grünland ist der häufigste Bodentyp bayernweit die Braunerde (44 %), die dagegen nur bei fünf BDF-Grünland-Standorten (28 %) vorkommt (Abb. 21, Tab. 24). Häufig (26 %) sind bayernweit außerdem die Grundwasserböden, v.a. Gleye unter Grünland anzutreffen. Nur ein BDF-Grünland (6 %) ist ein Gley-Standort. Flächenmäßig folgen in Bayern Ah/C-Böden, wie Pararendzinen (9 %), Pseudogleye und sonstige Stauwasserböden (8 %), Parabraunerden (6 %) und Moore (4 %). Die übrigen Bodentypen machen zusammen 4 % der Grünlandfläche aus. Die Grünland-BDF sind nicht repräsentativ auf die Bodentypen verteilt (χ^2 : 26,3; p-Wert: 0,09). Prozentual überrepräsentiert sind dabei Standorte mit Parabraunerde (17 %) und Pseudogley (28 %). Zudem fehlen Grünland BDF auf Moor-, Auen und Tonböden.

Tab. 24: Übersicht zur Verteilung der Grünland-BDF und der gesamten Grünlandflächen in Bayern über die bodensystematischen Klassen und Bodentypen nach KA5 (Sponagel et al., 2005; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Klasse	Bodentypen	Grünland in Bayern 2018		Grünland-BDF	
		(ha)	(%)	(n)	(%)
<i>Grundwasserböden</i>					
A Auenböden	Vega	31.886	2,9	-	
	Kalkpaternia	13.633	1,2	-	
	Sonstige Auenböden	173	< 0,1	-	
G Gleye	Gley	216.398	19,6	1	5,6
	Nassgley	4.217	0,4	-	
	Anmoor-, Moorgley	20.007	1,8	-	
<i>Terrestrische Böden</i>					
B Braunerden	Braunerde	482.849	43,7	5	27,8
L Lessives	Parabraunerde	65.564	5,9	3	16,7
C Terra calcis	Terra fusca	1.762	0,2	-	
D Pelosole	Pelosol	16.861	1,5	-	
P Podsole	Podsol	764	0,1	-	
R Ah/C-Böden	Pararendzina	49.198	4,5	1	5,6
	Rendzina	30.675	2,8	1	5,6
	Regosol	20.867	1,9	-	
	Ranker	676	0,1	-	
F O/C-Böden	Fels-, Skeletthumusböden	1.160	0,1	-	
O Rohböden	(Locker-) Syrosem	1.039	0,1	-	
S Stauwasserböden	Pseudogley	82.707	7,5	5	27,8
	Haftpseudogley	2.042	0,2	-	
Y Anthropogene Böden	Kolluvisol, Rigosol	19.189	1,7	2	11,1
	Kippenböden u.ä.	1.351	0,1	-	
<i>Moorböden</i>					
H Moore	Hochmoor	2.844	0,3	-	
	Niedermoor	38.843	3,5	-	
Gesamt		1.104.705		18	

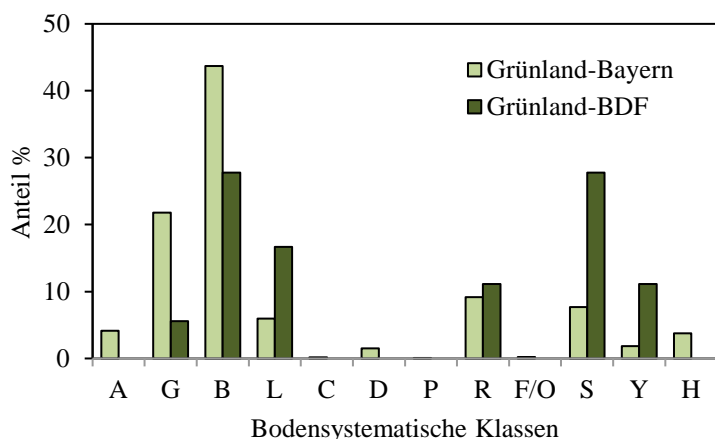


Abb. 21: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der Grünlandfläche von ganz Bayern nach den Bodensystematischen Klassen der KA5 (Sponagel et al., 2005; InVe-KoS Auswertungsjahr 2018)

5.3.2 Bodenschätzung

Ziel der Bodenschätzung, die in Deutschland in den 1930er Jahren begonnen wurde, war die Beurteilung der Böden nach ihrer Ertragsfähigkeit für die landwirtschaftliche Nutzung als Grundlage für Steuererhebungen. Alle Acker- und Grünlandflächen wurden in den folgenden Jahrzehnten kartiert, beprobt und in Abschnitte gleicher Ertragsfähigkeit eingeteilt. Jede Bodenschätzungseinheit wird mit einem Klassenzeichen gekennzeichnet, das sich bei Ackerschätzungen aus Bodenart, Zustandsstufe und Entstehung zusammensetzt, bei Grünlandschätzungen aus Bodenartengruppe, Zustandsstufe, Klima und Wasserstufe. Die je Bodenschätzungseinheit ermittelten Ertragswertzahlen berücksichtigen daneben weitere natürliche Einflüsse auf die Ertragsbedingungen. Man unterscheidet bei Ackerschätzungen Bodenzahl und Ackerzahl, bei Grünlandschätzungen Grünlandgrundzahl und Grünlandzahl. Acker- und Grünlandzahl enthalten zusätzlich zur Einschätzung des Bodens Zu- oder Abschläge je nach Einfluss weiterer Standortbedingungen (LfSt, 2009).

5.3.2.1 Bodenart und Zustandsstufe

Die Bodenart der Ackerschätzung beschreibt die Korngrößenzusammensetzung der Böden von sandig über lehmig bis tonig in acht Abstufungen, dazu kommen die organischen Moorböden (vergl. Tab. 25). Bei der Grünlandschätzung werden die Bodenarten in fünf Gruppen zusammengefasst (vergl. Tab. 26). Die Zustandsstufen (bei Acker von 1-7, bei Grünland in den Klassen I, II und III) beschreiben zusätzlich die Tiefgründigkeit der humosen Krume, die leicht durchwurzelt werden kann. Stufe 1 steht für eine ertragreiche, tiefe Krume (50 cm), Stufe 7 für den Zustand geringster Ertragsfähigkeit mit schwacher Krume von 10 cm und anschließendem nicht durchwurzelnbarem Untergrund.

Zustandsstufen:

- 1 = höchste Ertragsfähigkeit, humusreiche Krume (50 cm)
- 3 = mittlere Ertragsfähigkeit, humushaltige Krume (20-30 cm)
- 5 = geringe Ertragsfähigkeit, Krume 10-20 cm
- 7 = geringste Ertragsfähigkeit, Krume 5-10 cm
- M = Mischboden, Schichtboden, oder künstlich verändert

Die Zustandsstufen 2, 4 und 6 liegen dazwischen. Beim Grünland entspricht Stufe II etwa den Acker-Stufen 3-5, Stufe III den Acker-Stufen 5-7 (LfSt, 2009).

Die Kombination von Bodenart und Zustandsstufe erlaubt somit die Beurteilung der Böden hinsichtlich ihres Potenzials, Wasser und Nährstoffe zu speichern und Erträge in der Landwirtschaft zu generieren.

Beispiel Klassenzeichen und Wertzahlen Acker: sL (4) D 55/50

Beispiel Klassenzeichen und Wertzahlen Grünland: Mo (II) c 2 35/32

Acker

Von den 80 Acker-BDF sind 31 % auf den leichten Böden mit hoher Wasserdurchlässigkeit, also auf Sanden bis stark lehmigen Sanden zu finden. Bayernweit sind es 25 % der Ackerflächen. Die sandigen Lehme und Lehme mittlerer Böden, die durch ausgeglichene Wasser- und Luftkapazität gekennzeichnet sind, bilden die Grundlage für gut die Hälfte der Acker-BDF (56 %) und für fast zwei Drittel (63 %) der Ackerflächen in Bayern. Auf schweren Lehmen und Tonen, die zur Verdichtung und bei Austrocknung zur Rissbildung neigen, befinden sich 11 % der Acker-BDF und 10 % der bayernweiten Ackerfläche. Moorböden sind nach Bodenschätzung in Bayern in entwässerter Form bei 2 % der Ackerböden zu finden, meist als Misch- oder Schichtböden in Verbindung mit anderen Bodenarten. Eine Acker-BDF hat als Bodenart eine Mischung aus Moor und Lehm (Abb. 22).

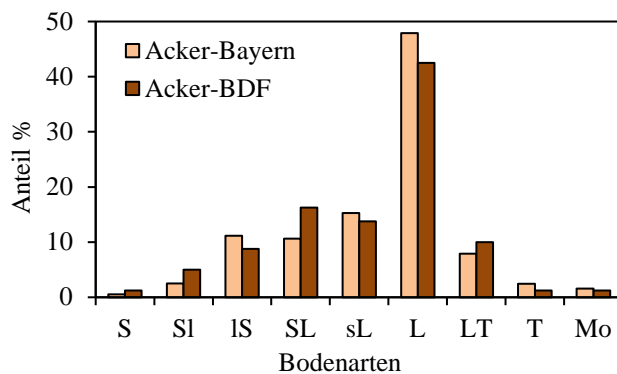


Abb. 22: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach Bodenarten der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

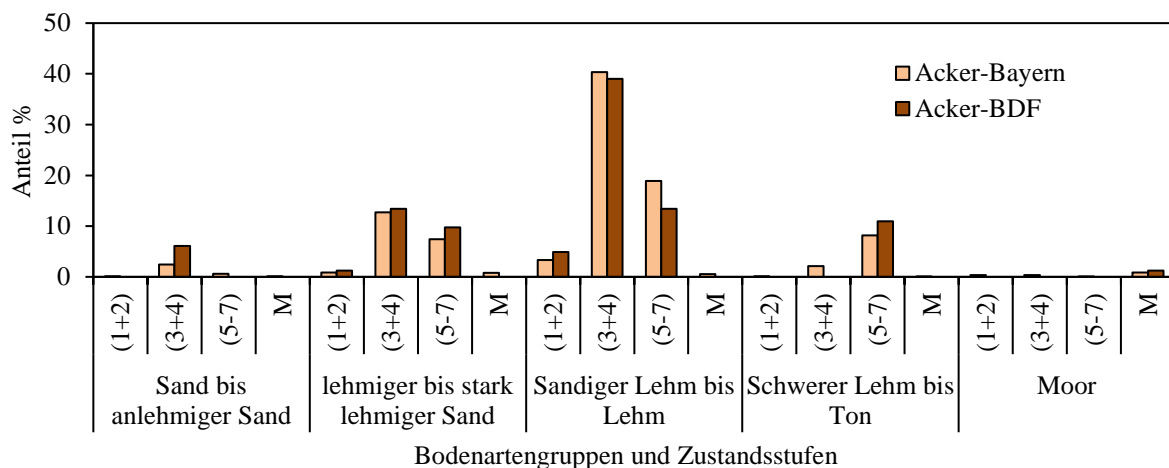


Abb. 23: Verteilung der Acker-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Ackerfläche in Bayern nach Bodenartengruppe und Zustandsstufe der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Tab. 25: Übersicht zur Bodenart und Zustandsstufe der Bodenschätzung für die Acker-BDF und der gesamten Ackerfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Bodenart	Zustandsstufe	Acker in Bayern 2018		BDF-Ackerstandorte	
		(ha)	(%)	(Anzahl)	(%)
Sand (S)	(1+2)	440	< 1		
	(3+4)	9.817	< 1	1	1,3
	(5-7)	1.146	< 1		
	M	550	< 1		
Anlehmgiger Sand (Sl)	(1+2)	1.034	< 1		
	(3+4)	39.947	1,9	4	5,0
	(5-7)	11.150	1		
	M	880	< 1		
Lehmiger Sand (IS)	(1+2)	16.596	< 1	1	1,3
	(3+4)	134.803	6,5	4	5,0
	(5-7)	68.207	3,3	2	2,5
	M	12.084	< 1		
Stark lehmgiger Sand (SL)	(1+2)	1.669	< 1		
	(3+4)	127.741	6,2	7	8,8
	(5-7)	85.197	4,1	6	7,5
	M	4.495	< 1		
Sandiger Lehm (sL)	(1+2)	7.691	< 1		
	(3+4)	193.007	9,3	7	8,8
	(5-7)	112.885	5,5	4	5,0
	M	1.183	< 1		
Lehm (L)	(1+2)	61.002	2,9	4	5,0
	(3+4)	641.329	31,0	24	30,0
	(5-7)	278.049	13,4	6	7,5
	M	9.903	< 1		
Schwerer Lehm (L)	(1+2)	99	< 1		
	(3+4)	24.893	1,2		
	(5-7)	138.189	6,7	8	10,0
	M	292	< 1		
Ton (T)	(1+2)	1.750	< 1		
	(3+4)	18.285	< 1		
	(5-7)	30.842	1,5	1	1,3
	M	216	< 1		
Moor (Mo)	(1+2)	6.644	< 1		
	(3+4)	7.523	< 1		
	(5-7)	1.158	< 1		
	M	17.257	1	1	1,3
Gesamt		2.067.953		80	

Bei allen Bodenartengruppen überwiegen sowohl bei den BDF (69 %), als auch bayernweit (58 %) die Zustandsstufen 3 und 4, also Standorte mittlerer Ertragsfähigkeit mit einer humosen Krume um 30 cm Stärke mit allmählichem Übergang zum Untergrund. Vor allem die schweren Böden (11 % BDF, 8 % Bayern) haben oft nur geringmächtige Krumen bis

20 cm auf verdichtetem Untergrund (Zustandsstufe 5-7). Böden höchster Ertragsfähigkeit kommen in Bayern bei nur 5 % des Ackerlands und bei 6 % der BDF-Äcker vor (Abb. 23, Tab. 25). Die Verteilung der Anteile der BDF nach Bodenarten sind von der Verteilung bezogen auf die gesamte Ackerfläche Bayerns statistisch nicht zu trennen (χ^2 : 7,0; p-Wert: 0,51). Auf stark lehmigen Sanden sind eher zu viele BDF zu finden, auf reinen Lehmen eher zu wenige.

Grünland

Noch deutlicher als beim Acker überwiegt bei den Grünlandflächen in Bayern die Bodenartengruppe der sandigen Lehme bis Lehme (67 %). Mit 14 Standorten gehören 78 % der BDF-Grünländer in diese Gruppe. Je zwei BDF liegen im Bereich lehmiger Sande (IS) und toniger Böden (T). Prozentual weisen die bayerischen Grünlandflächen in diesen Bodenartengruppen einen ähnlichen Anteil von 17 % bei den lehmigen Sanden und 10 % bei den Tonböden auf. Reine Sandböden oder Moorböden findet man unter den Grünland-BDF nicht und auch bayernweit liegen nur 1 % der Grünländer im Bereich der Sande (S) und 6 % auf Moorböden (Mo) (Abb. 24).

Die mittlere Zustandsstufe II hat bei den BDF-Grünlandstandorten einen Anteil von 44 %, bayernweit ist die Hälfte der Grünlandflächen mit mittlerer Ertragsfähigkeit bewertet. Einen größeren Anteil als beim Acker nehmen gering ertragsfähige Standorte der Stufe III ein (BDF: 39 %, Bayern: 34 %). Standorte hoher Ertragsfähigkeit (I) sind im BDF-Grünland anteilig etwas häufiger (17 %, bzw. 3 Standorte) als in gesamt Bayern (10 %) (Abb. 25, Tab. 26).

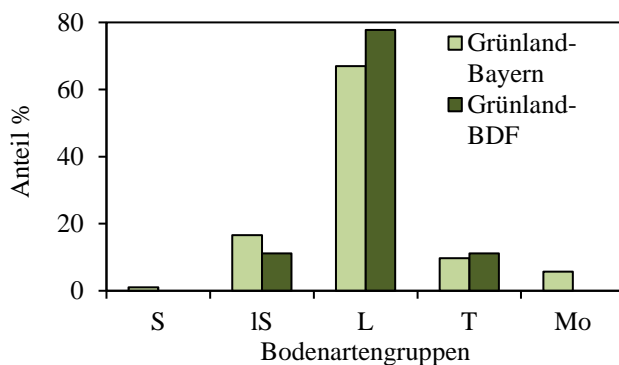


Abb. 24 : Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche von Bayern nach Bodenartengruppen der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

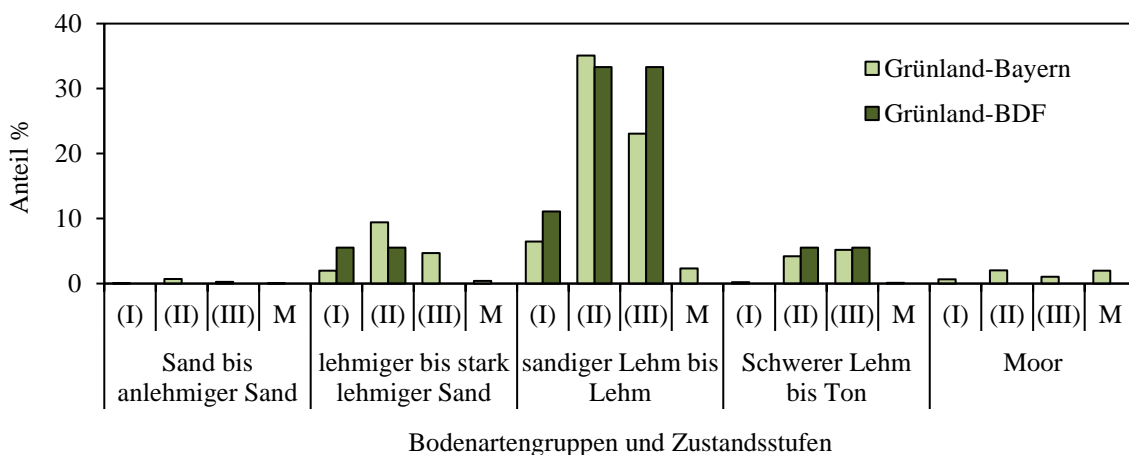


Abb. 25: Verteilung der Grünland-Standorte aus dem BDF-Programm und der gesamten Grünlandfläche von Bayern nach Bodenartengruppen und Zustandsstufen der Bodenschätzung (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Zu Grünland auf Moor- und Sandböden kann aufgrund der fehlenden BDF keine Aussage getroffen werden. Die häufigsten Bodenarten und deren Zustandsstufen sind durch Grünland-BDF vertreten, wenn auch im Falle der lehmigen Sande und Tone nur durch höchstens einen Standort je Zustandsstufe. Bei den Lehm Böden und ihren Zustandsstufen liegen die Abweichungen der Anteile zwischen BDF und Bayern im Bereich von +/- einem Standort (χ^2 : 1,9; p-Wert: 0,71).

Tab. 26: Übersicht zu Bodenart und Zustandsstufe der Bodenschätzung für die Grünland-BDF und die gesamten Grünlandflächen in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Bodenart	Zustandsstufe	Grünland in Bayern 2018		BDF-Grünlandstandorte	
		(ha)	(%)	(Anzahl)	(%)
Sand bis an-lehmiger	I	547	<1		
	II	7.149	< 1		
Sand (S)	III	2.894	< 1		
	M	605	< 1		
Lehmiger bis stark lehmiger Sand (IS)	I	20.766	2,0	1	5,6
	II	99.222	9,4	1	5,6
	III	49.457	4,7		
	M	4.383	< 1		
Sandiger Lehm bis	I	68.168	6,5	2	11,1
	II	368.420	35,1	6	33,3
Lehm (L)	III	242.451	23,1	6	33,3
	M	24.394	2,3		
Schwerer Lehm bis Ton (T)	I	2.441	< 1		
	II	44.254	4,2	1	5,6
	III	54.259	5,2	1	5,6
	M	1.407	< 1		
Moor (Mo)	I	6.861	< 1		
	II	21.361	2,0		
	III	10.788	1,0		
	M	20.992	2,0		
Gesamt		1.050.818		18	

5.3.2.2 Bodenwertzahlen

Da in die Acker- und Grünlandzahlen zusätzlich zur Einschätzung der Ertragsfähigkeit des Bodens weitere natürliche Standortfaktoren, wie Klima, Waldschatten oder Nassstellen einfließen, kann anhand dieser Zahlen die landwirtschaftliche Eignung eines Standortes noch genauer abgeschätzt werden. Bei den Wertzahlen handelt es sich um Relativzahlen des Ertragspotenzials zwischen 1 und 100 im Vergleich zum besten Boden in Deutschland.

Acker

Im Mittel liegt die Ackerzahl in Bayern bei 48, auf den BDF-Äckern bei 49. In beiden Fällen liegen 95 % der Flächen zwischen 26 und 75 (Abb. 26). Die Verteilung der Wertzahlen der Acker-BDF entspricht überwiegend die der bayernweiten Ackerflächen (keine signifikanten Unterschiede; χ^2 : 10,1; p-Wert: 0,63). Im Bereich der hohen Wertzahlen zwischen 71-75 kommen anteilig mehr BDF-Ackerflächen vor.

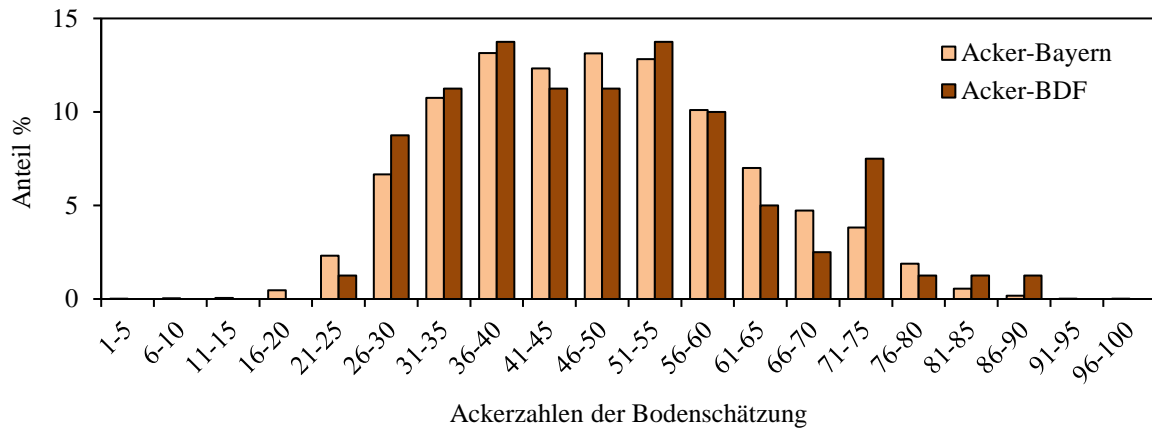


Abb. 26: Verteilung der Ackerzahlen der Bodenschätzung für die Acker-BDF und der gesamten Ackerfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Grünland

Die Grünlandzahl in Bayern beträgt im Schnitt 41, bei den BDF-Grünlandflächen 42. In Bayern umfasst der Bereich von 16 bis 65 einen Anteil von 95 % der Grünlandfläche und alle BDF-Grünlandstandorte (Abb. 27).

Die Grünland-BDF sind im Bereich von 31-35 überproportional und auf den besseren Standorten ab 51 im Vergleich zum bayernweiten Grünland ebenfalls überproportional vertreten, im Bereich dazwischen von 41 bis 50 unterrepräsentiert, die Klasse von 26-30 mit immerhin 8 % des bayernweiten Grünlands fehlt ganz, ebenso wie die niedrigsten und höchsten Wertzahlen, die jedoch nur einen geringen Anteil des Grünlands ausmachen. Ein signifikanter Unterschied der Verteilung auf die Klassen konnte allerdings nicht festgestellt werden (χ^2 : 10,1; p-Wert: 0,63).

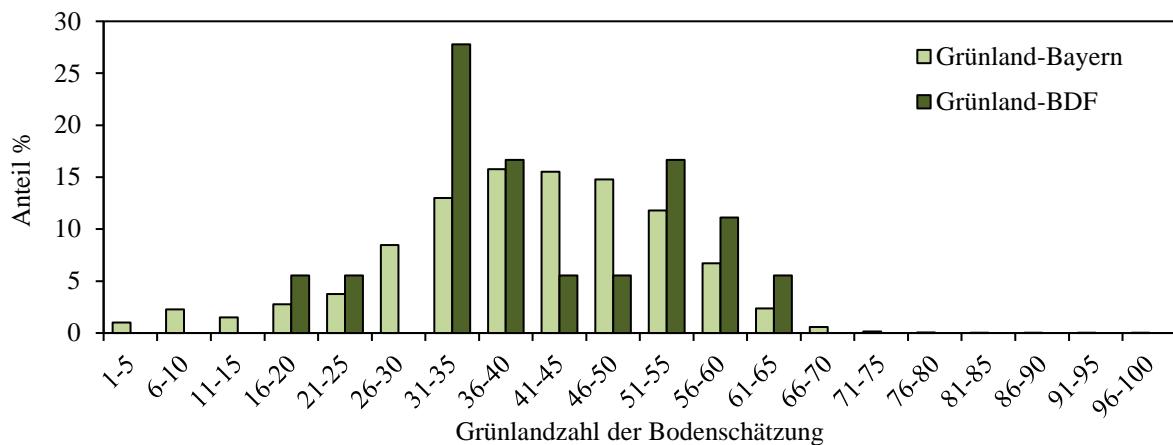


Abb. 27: Verteilung der Grünlandzahlen der Bodenschätzung für die Grünland-BDF und der gesamten Grünlandfläche in Bayern (LfSt, 2009; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

5.3.2.3 Kulturart nach Bodenschätzung

In der Bodenschätzung wird die landwirtschaftliche Kulturart unterschieden nach Ackerland (A), Gartenland (G) und Grünland (Gr) erfasst, wobei laut Bodenschätzung als Ackerland die Bodenfläche gilt, die regelmäßig bearbeitet wird. Bei Grünland dagegen wird nicht von der tatsächlichen Nutzung zum Zeitpunkt der Schätzung, sondern von der

naturgemäßen Nutzung aufgrund der natürlichen Ertragsbedingungen ausgegangen. Flächen die naturgemäß sowohl als Acker oder Grünland gleich gut genutzt werden können (Wechselland zwischen Acker und Grünland), werden je nach der vorherrschenden Kulturart als Acker-Grünland (AGr) oder Grünland-Acker (GrA) bezeichnet (LfSt, 2009).

Die Angaben der Bodenschätzung können so einen Hinweis darauf geben, ob die im BDF-Programm vorgefundene Nutzung dem Standort entspricht oder ob mit gewisser Wahrscheinlichkeit ein nicht dokumentierter Nutzungswechsel vor Beginn des BDF-Programms stattgefunden hat.

Unter den Acker-BDF finden sich nach Bodenschätzung 70 als Ackerland bezeichnete Flächen, drei Grünland-Standorte (BDF 25, 80, 123), zwei Acker-Grünland und fünf Grünland-Acker-Standorte. Unter den Grünland-BDF gibt es neben 16 Grünland-Standorten laut Bodenschätzung einen Ackerstandort (BDF 42) und einen Grünland-Acker-Standort. Bei den 12 Flächen mit Nutzungsänderung sind in der Bodenschätzung neun Acker-Standorte und drei Grünland-Acker-Standorte angegeben

5.4 Klima

Das vorherrschende Klima setzt die Rahmenbedingungen, nicht nur für die natürlich vorkommende Vegetation, sondern auch für die Kulturpflanzen in der Landwirtschaft. Es beeinflusst über Temperatur und Niederschlagsverteilung grundsätzlich, welche Nutzpflanzen in welcher Region angebaut werden können. Das Makroklima einer Landschaft wird dabei vor allem durch die geografische Breite eines Standorts und dessen Höhe über dem Meeresspiegel beeinflusst, während das Mesoklima stark von kleinräumigeren Geländestrukturen, Hangneigung und Exposition eines Hanges abhängen. Bayern als Flächenstaat mit Geländehöhen zwischen 100 m ü. NN und fast 3000 m ü. NN weist deutliche Klimagradienten auf, die die landwirtschaftliche Nutzung stark beeinflussen.

5.4.1 Topografische Klimafaktoren

5.4.1.1 Geografische Breite

Die geografische Breite gibt die Entfernung vom Äquator Richtung Pol an und beeinflusst daher über Tageslängen und Einfallswinkel der Sonne die durchschnittliche Jahrestemperatur (VELA, 2014). Bayern liegt zwischen dem 47. und dem 51. Grad nördlicher Breite. Der Unterschied bei den Tageslängen liegt am längsten Tag des Jahres zwischen Fladungen in Unterfranken und Oberstdorf im Allgäu bei etwa einer halben Stunde. Insgesamt hat die Geografische Breite als Klimafaktor einen geringen differenzierenden Einfluss auf die landwirtschaftliche Nutzung in Bayern.

Acker

Die als Acker genutzten Flächen befinden sich in Bayern zu 97 % nördlich des 48. Breitengrades. Die Hälfte liegt zwischen dem 48. und 49. Grad nördlicher Breite, was auch die Verteilung der BDF-Ackerflächen annähernd widerspiegelt (Abb. 2). Im Norden sind die Acker-BDF überproportional (5 % mehr nördlich von 50°), im Süden etwas zu gering (6 % weniger südlich von 48,5°) vertreten (Abb. 29, Abb. 30).

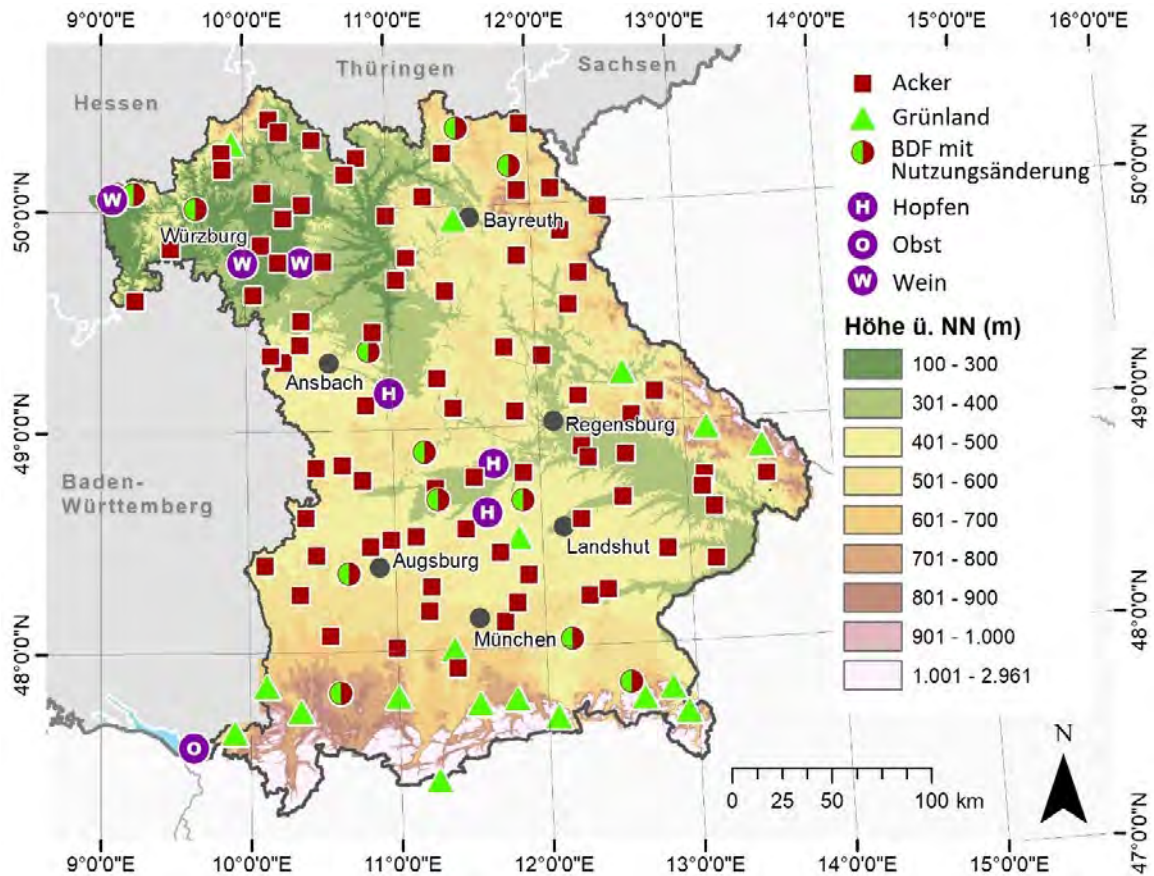


Abb. 28: Höhenstufen in Bayern und Lage der BDF im Gradnetz (Stand 2018; Geobasisdaten: Bayerische Vermessungsverwaltung, www.geodatenonline.bayern.de)

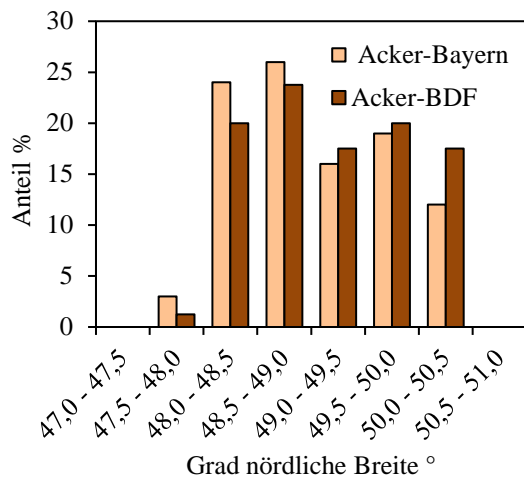


Abb. 29: Lage der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern zwischen dem 47. und 51. Grad nördlicher Breite (InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

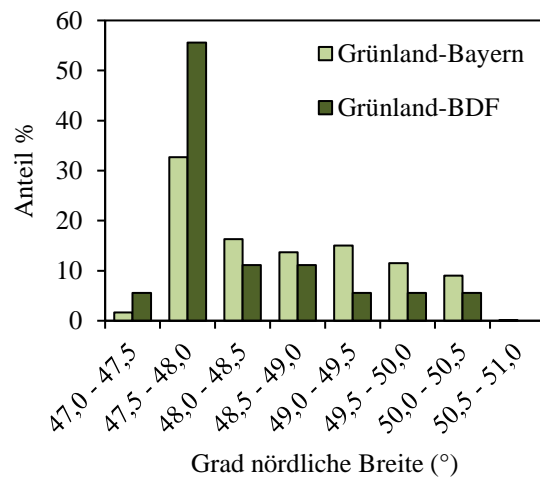


Abb. 30: Lage der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern zwischen dem 47. und 51. Grad nördlicher Breite (InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Grünland

Beim Grünland liegt ein Drittel der bayernweiten Fläche südlich des 48. Breitengrades. Über die Hälfte der BDF-Grünlandstandorte befindet sich zwischen dem 47. und 48. Breitengrad (Abb. 3). Das übrige Grünland verteilt sich zu etwa gleichen Teilen auf die nördlich anschließenden Breiten, in denen jeweils nur ein bis zwei BDF-Grünlandflächen liegen. Südlich des 48. Breitengrads sind dagegen überproportional viele Grünland-BDF angelegt (Abb. 30).

5.4.1.2 Höhe über dem Meeresspiegel

Da die Temperatur im Schnitt um 0,65 °C je 100 Höhenmeter abnimmt, hat die Höhe über dem Meer Einfluss auf die Jahresdurchschnittstemperaturen (VELA, 2014). Um die BDF-Standorte mit der bayernweiten Verteilung der landwirtschaftlichen Fläche je 100 m-Höhenstufe zu vergleichen, wurde von allen Schlägen (InVeKoS, Auswertungsjahr 2018) die mittlere Höhe anhand eines digitalen Geländemodells mit 10 m Auflösung (BVV, 2012) ausgewertet. Bei den BDF bezieht sich die ermittelte Höhe nicht auf den kompletten Schlag, sondern auf die mittlere Lage der Versuchsparzelle.

Acker

Sowohl die Acker-Standorte in Bayern als auch die 80 als Acker genutzten BDF befinden sich zu 95 % in einer Höhe zwischen 200 m und 600 m ü. NN (Abb. 31). Die Verteilung der Acker-BDF auf die Höhenstufen entspricht gut den bayerischen Verhältnissen, bei geringer Unterrepräsentanz zwischen 400 und 500 m (Chi²: 4,3; p-Wert: 0,61).

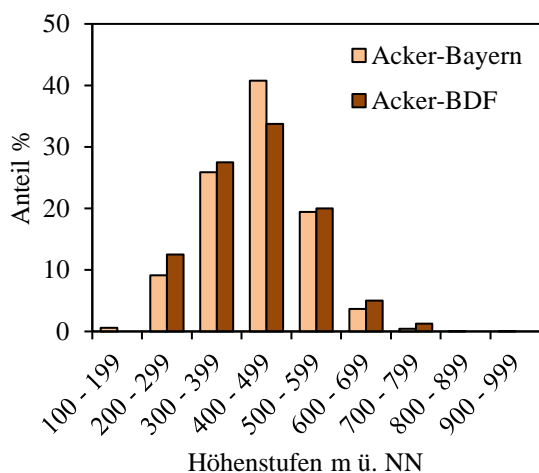


Abb. 31: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach Höhenstufen (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

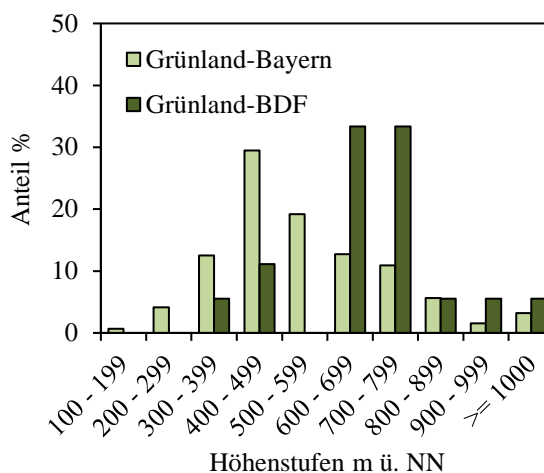


Abb. 32: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach Höhenstufen (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Grünland

Der Großteil der landwirtschaftlich genutzten Grünlandflächen in Bayern (95 %) ist in Höhenlagen zwischen 200 und 900 m zu finden. Die Grünland-BDF liegen zu 95 % zwischen 300 und 1000 m (ein weiterer Standort auf 1140 m). Während in Bayern die Hälfte des Grünlands zwischen 400 und 600 m vorkommt, sind in dieser Höhe nur zwei BDF-Grünlandstandorte (11 %) eingerichtet (Abb. 32). Zwei Drittel der BDF-Grünlandparzellen

liegen deutlich überrepräsentiert zwischen 600 und 800 m. Die Verteilung der Grünland-BDF auf die Höhenstufenklassen weicht signifikant von der bayernweiten Verteilung der Grünlandflächen ab (Chi^2 : 23,5; p-Wert: 0,02).

5.4.1.3 Hangneigung und Exposition

Die Inklination und Exposition der Geländeoberfläche beeinflussen über Dauer und Intensität der Sonneneinstrahlung das Klima eines Standortes.

Zur Berechnung der Hangneigungsklassen wurde die Hangneigung in Prozent aus einem Digitalen Geländemodell mit 10 m Auflösung (BVV, 2012) flächendeckend für Bayern abgeleitet und anschließend je 10 x 10 m Rasterzelle Hangneigungsklassen gebildet. Die Hangneigungsklassen wurden bayernweit nach den Hauptnutzungen Acker und Grünland getrennt aufsummiert und deren Anteile an der jeweiligen Nutzungsart berechnet. Für die BDF wurde durch Mittelung der genauen Neigungswerte innerhalb der Monitoring-Parzelle ein mittlerer Neigungswert ermittelt.

Zur Ermittlung der Expositionen wurden die acht Haupt-Himmelsrichtungen aus dem gleichen Digitalen Geländemodell mit 10 m Auflösung flächendeckend für Bayern abgeleitet. Die Exposition der BDF bezieht sich auf die genaue Lage der Monitoring-Parzelle. Für die bayernweiten Anteile der landwirtschaftlichen Fläche an den Haupt-Himmelsrichtungen wurden alle Teilflächen innerhalb des Acker- und Grünlands ausgewertet, die unterschiedliche Expositionen aufweisen, und diese aufsummiert. Bereiche kleiner 3 % Hangneigung galten als „flach“, diesen wurde keine Exposition zugewiesen.

Acker

96 % der bayerischen Ackerfläche besitzen eine Hangneigung von weniger als 15 %. Der größte Anteil (38 %) hat ein Gefälle unter 3 %. Der Ackeranteil sinkt mit zunehmender Hangneigung. Neben den flachen Standorten verteilen sich die Ackerflächen auf Hanglagen aller Expositionen mehr oder weniger gleichmäßig mit etwas geringeren Anteilen bei den (nord-)westlich ausgerichteten Hängen (Abb. 33). Die BDF-Parzellen mit Ackernutzung befinden sich zu 95 % in Bereichen mit weniger als 12 % Hangneigung und sind somit im Mittel mit 4,8 % Gefälle flacher als der bayernweite Durchschnitt von 5,4 % (Abweichung in der Verteilung nicht signifikant; Chi^2 : 8,7; p-Wert: 0,18), während deren Expositionen der landesweiten Verteilung folgen (Chi^2 : 2,3; p-Wert: 0,97).

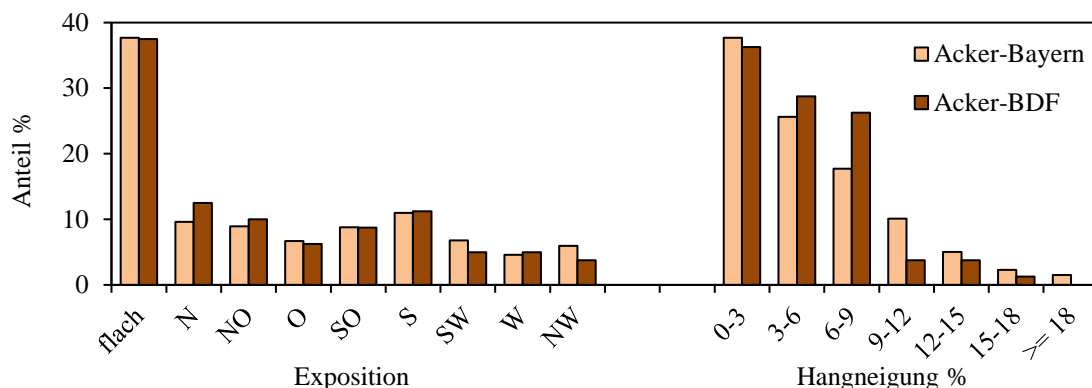


Abb. 33: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach Exposition und Hangneigung (%), (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Grünland

Ähnlich wie beim Acker ist ein Drittel der bayernweiten Grünlandfläche flacher als 3 % mit abnehmenden Anteilen bei steigender Hangneigung und gleichmäßiger Verteilung auf alle Expositionen (Abb. 34). Noch 4 % des Grünlands besitzt ein Gefälle von mehr als 30 %. Die durchschnittliche Hangneigung des Grünlands in Bayern beträgt 8,9 %. Das BDF-Grünland hat im Schnitt ein Gefälle von 9,6 %. Nur zwei Standorte (11 %) sind flach. Der Bereich zwischen 3 und 15 % Neigung ist mit einem Anteil von 72 % bei den Grünland-BDF deutlich stärker vertreten als bayernweit (50 %). Eine signifikante Abweichung von der Verteilung kann jedoch bei dieser Stichprobengröße nicht festgestellt werden (Hangneigung: Chi^2 : 8,7; p-Wert: 0,18; Exposition: Chi^2 : 12,2; p-Wert: 0,13)

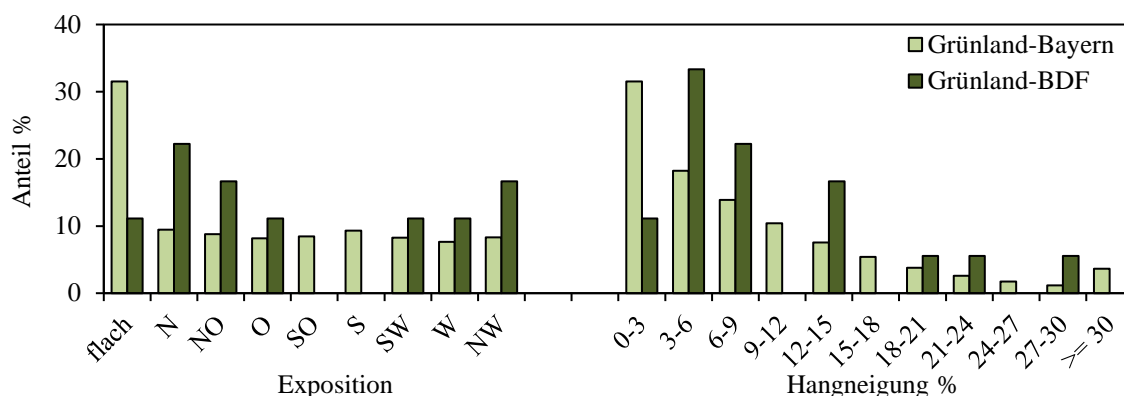


Abb. 34: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach Exposition und Hangneigung (%), (BVV, 2012; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

5.4.2 Klimatelemente

Zu den Klimatelementen gehören messbare Größen wie Temperatur und Niederschlag, ebenso wie Windgeschwindigkeit und -richtung, Sonnenscheindauer oder Luftfeuchte, mit denen sich das Klima beschreiben lässt. Mitteleuropa liegt in der gemäßigten, immerfeuchten Klimazone mit relativ ausgeglichener Niederschlags- und Temperaturverteilung über das Jahr mit Niederschlagsmaximum im Sommer. In ganz Bayern lag im Zeitraum von 1985 bis 2018 die Jahresdurchschnittstemperatur bei 8,4 °C (DWD, 2020a).

5.4.2.1 Langjährige Jahresdurchschnittstemperaturen (1985 - 2018)

Zur Berechnung der mittleren Jahresdurchschnittstemperatur über den Zeitraum des Bodendauerbeobachtungsprogrammes von 1985 bis 2018 (gemessen in 2 m Höhe über dem Boden) wurden frei verfügbare Daten aus dem Climate Data Center (CDC) des Deutschen Wetterdienstes (DWD) verwendet. Die jährlichen Temperaturmittelwerte, die in einer Auflösung von 1x1 km für ganz Bayern vorliegen, wurden für jede dieser Rasterzellen gemittelt. Abb. 35 zeigt das Ergebnis als bayernweite Karte der in fünf Klassen unterteilten Temperaturen. Die Temperaturen folgen deutlich dem Höhengradienten mit Maximalwerten über 10 °C im Maintal und unter 7 °C in den höheren Mittelgebirgslagen und im Alpenraum. Um den langjährigen Temperaturmittelwert der BDF-Standorte zu berechnen, wurden die Werte aus einem 3x3 km Fenster (9 Rasterzellen) um jede BDF ausgewertet. Die Temperaturwerte der BDF wurden demnach nicht direkt vor Ort gemessen. Die tatsächlichen Temperaturwerte können somit aufgrund der kleinräumigen Geländesituation von den gemittelten Werten abweichen.

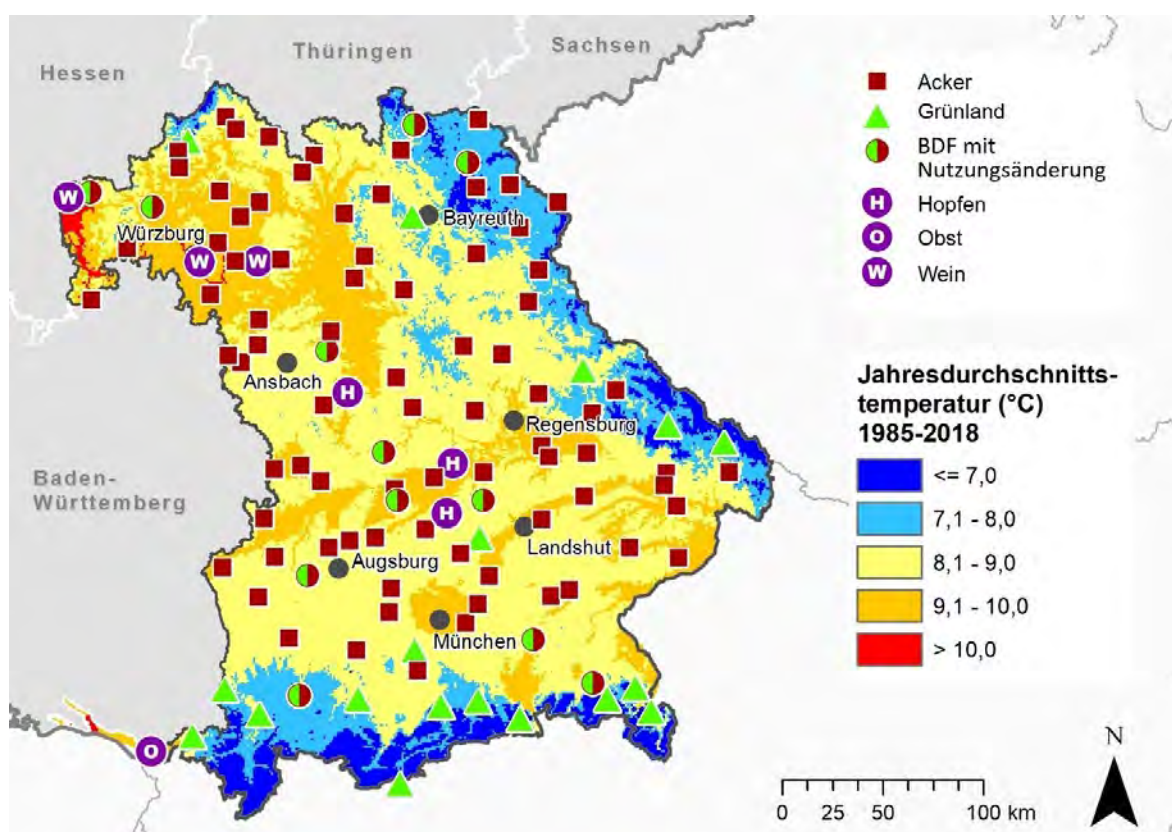


Abb. 35: Mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 1985-2018 in Bayern mit BDF-Standorten (Datengrundlage: DWD, 2020a)

Acker

In den ackerbaulich genutzten Gebieten Bayerns lag die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur über die Jahre 1985 bis 2018 bei 8,8 °C, bei den Acker-BDF bei 8,7 °C (DWD, 2020a). Über 90 % der bayernweiten Ackerfläche sowie der BDF-Ackerstandorte liegen in Gebieten mit mittleren Temperaturen über 8 °C (Abb. 36). Die Acker-BDF liegen dabei im bayernweiten Vergleich etwas häufiger (+ 6 %) in Gebieten mit mehr als 9 °C Jahresdurchschnittstemperatur. Für die nur vier gebildeten Klassen waren keine Unterschiede zwischen den Verteilungen nachzuweisen (Chi^2 : 3,2; p-Wert: 0,30).

Grünland

Die Grünlandgebiete Bayerns erreichten für den Zeitraum von 1985 bis 2018 eine mittlere Jahresdurchschnittstemperatur von 8,2 °C, die BDF-Grünlandstandorte nur 7,8 °C (DWD, 2020a). Über die Hälfte des Grünlands in Bayern (55 %) liegt in mittleren Temperaturbereichen von 8-9 °C (BDF: 44 %). In Bereichen über 9 °C, mit immerhin 14 % bayernweitem Grünlandanteil, befindet sich kein BDF-Grünlandstandort. Diese sind dagegen im Temperaturbereich unter 8 °C überproportional (BDF: 56 %, Bayern: 32 %) vertreten (Abb. 37). Dieser Unterschied war trotz der nur fünf gebildeten Klassen als Tendenz nachzuweisen (Chi^2 : 6,0; p-Wert: 0,10).

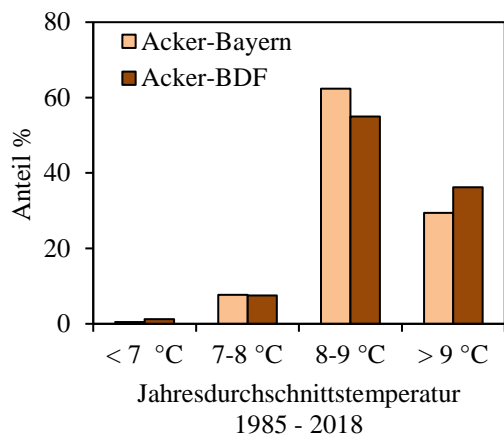


Abb. 36: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach langjährig gemittelter Jahresdurchschnittstemperatur (1985-2018), (DWD, 2020a; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

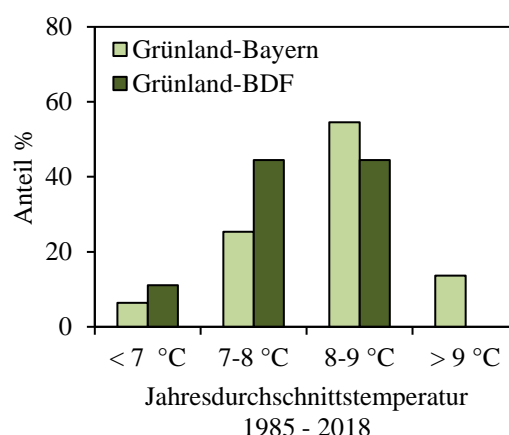


Abb. 37: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach langjährig gemittelter Jahresdurchschnittstemperatur (1985-2018), (DWD, 2020a; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

5.4.2.2 Langjährige Jahresniederschlagssummen (1985 - 2018)

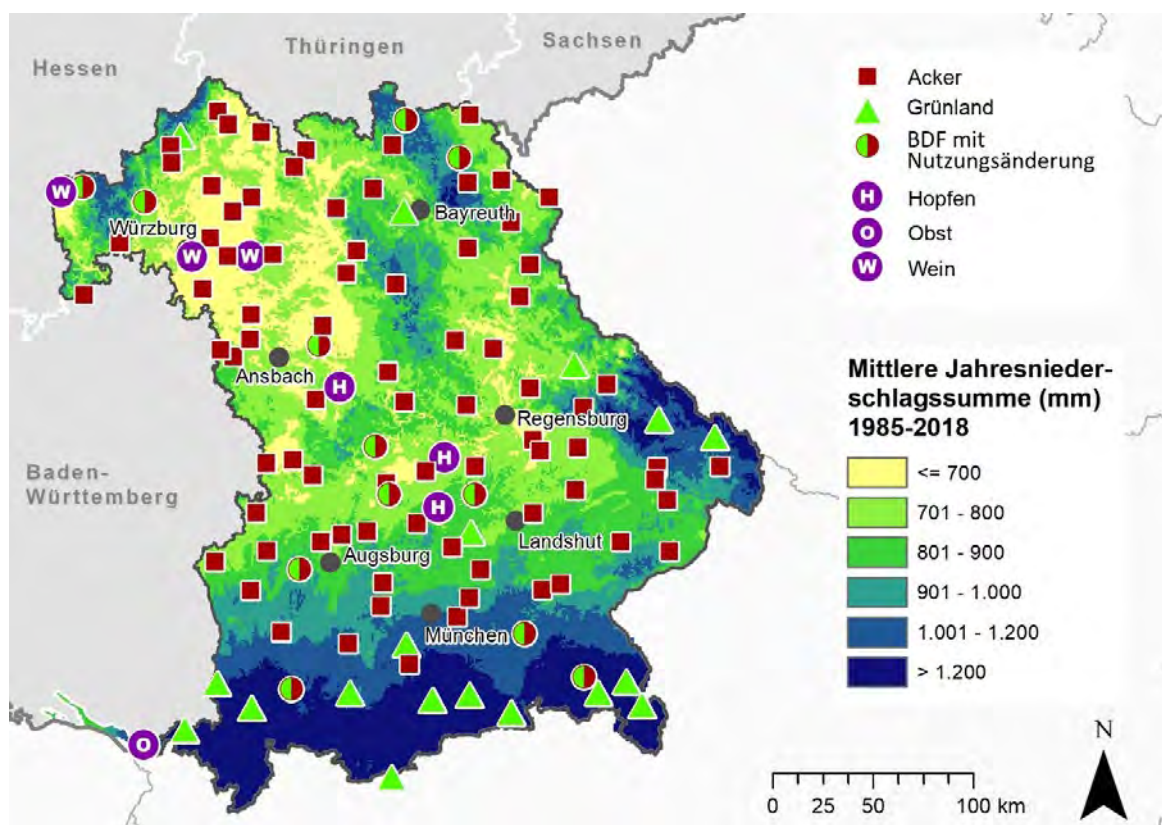


Abb. 38: Mittlere Jahresniederschlagssumme von 1985-2018 in Bayern mit BDF-Standorten (Datengrundlage: DWD, 2020b)

Zur Berechnung der mittleren Jahresniederschlagssummen über den Monitoring-Zeitraum von 1985 bis 2018 wurden ebenfalls Daten aus dem Climate Data Center (CDC) des DWD

verwendet. Die jährlichen Niederschlagssummen, die in einer Auflösung von 1x1 km für ganz Bayern vorliegen, wurden für jede dieser Rasterzellen gemittelt. Abb. 38 zeigt das Ergebnis als bayernweite Karte der langjährigen mittleren Jahresniederschlagssummen, dargestellt in sechs Klassen. Da kühlere Luft weniger Feuchtigkeit aufnehmen kann, steigen die Niederschlagssummen mit zunehmender Höhe. Zusätzlich sorgen Staulagen vor den Mittelgebirgen und vor den Alpen für höhere Niederschläge, sodass in Bayern ein deutlicher Nord-Süd-Gradient der Niederschlagshöhen erkennbar ist. Die Jahresniederschlagssummen der BDF-Standorte wurden wie bei den Temperaturwerten nicht vor Ort gemessen, sondern aus dem 3x3 km Fenster um jeden BDF-Standort anhand der Rasterdaten gemittelt. Aufgrund von kleinräumig variierenden Niederschlagsintensitäten können die gemittelten Werte von den tatsächlich auf der BDF-Parzelle aufgetretenen Niederschlagsmengen abweichen.

Acker

In den ackerbaulich genutzten Gebieten Bayerns lag die mittlere Jahresniederschlagssumme über die Jahre 1985 bis 2018 bei 810 mm, bei den BDF-Ackerstandorten etwas niedriger bei 798 mm (DWD, 2020b). Sowohl bei den Acker-BDF, als auch bayernweit findet man in Gebieten mit mehr als 900 mm Jahresniederschlägen nur noch 20 % der Ackerfläche (Abb. 39). Die meisten Ackerstandorte haben jährliche Niederschlagsmengen zwischen 700 und 900 mm (BDF: 55 %, Bayern: 61 %), während in den Gebieten unter 700 mm Jahresniederschlag die Acker-BDF etwas häufiger sind (23 %), als die bayernweiten Flächen (19 %). Unterschiede in der Verteilung auf die gebildeten Klassen waren ebenso wie bei den Jahresdurchschnittstemperaturen nicht nachzuweisen (Chi²: 1,4; p-Wert: 0,93).

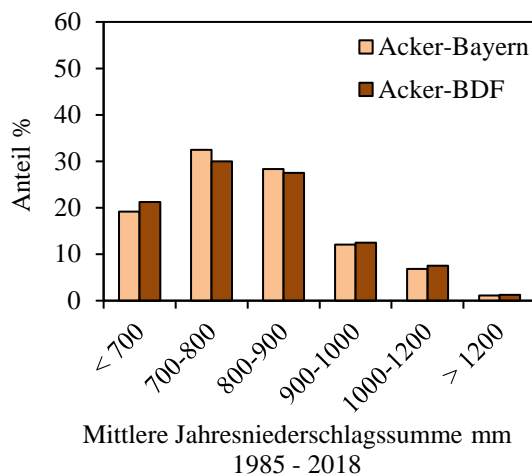


Abb. 39: Verteilung der Ackerflächen und Acker-BDF in Bayern nach langjährig gemittelten Niederschlagssummen (mm) (1985-2018); (DWD, 2020b; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

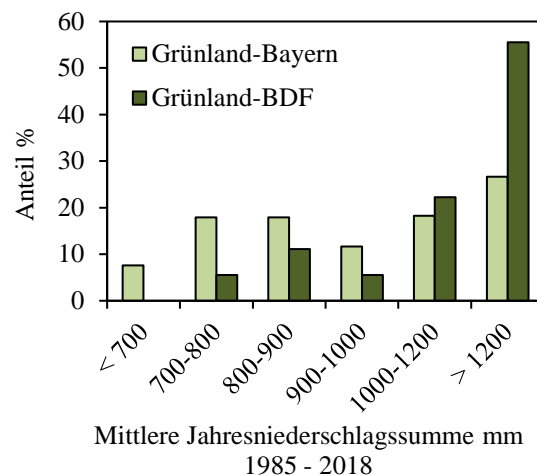


Abb. 40: Verteilung der Grünlandflächen und Grünland-BDF in Bayern nach langjährig gemittelten Niederschlagssummen (mm) (1985-2018); (DWD, 2020b; InVeKoS Auswertungsjahr 2018)

Grünland

In den Grünlandgebieten in Bayern wurden im Zeitraum von 1985 bis 2018 jährliche Niederschlagsmengen von durchschnittlich 1054 mm erreicht. Die mittleren Jahresniederschläge lagen bei den Grünland-BDF mit 1277 mm deutlich höher (DWD, 2020b). Die

Grünlandfläche in Bayern verteilt sich relativ ausgeglichen über das Niederschlagspektrum mit etwas höherem Anteil über 900 mm (57 %), als darunter (43 %). Auf 27 % der Grünlandfläche in Bayern fallen über 1200 mm Jahresniederschlag, auf den Grünland-BDF sind es mehr als die Hälfte (56 %) (Abb. 40). Weniger als 1000 mm Jahresniederschlag fallen nur bei 4 Grünland-BDF (22 %). Unterschiede in der Verteilung konnten als Tendenz nachgewiesen werden ($\text{Chi}^2: 9,7$; $p\text{-Wert: } 0,08$).

5.4.3 Klimatrend Bayern

Der Klimareport Bayern 2021, herausgegeben vom StMUV (2021) beschreibt für den Zeitraum von 1951 bis 2019 einen Erwärmungstrend in Bayern von $+1,9\text{ }^\circ\text{C}$. Zudem waren nach 1985 die meisten Jahre wärmer als davor. Aufgrund der vom StMUV beschriebenen hohen Geschwindigkeit der Klimaänderung in Bayern muss auch für den Beobachtungszeitraum des BDF-Monitorings von sich ändernden Klimabedingungen und einem Einfluss auf beobachtete Trends bei den untersuchten Bodenparameter ausgegangen werden.

Anhand der frei verfügbaren Rasterdaten in $1 \times 1\text{ km}$ Auflösung zu Temperatur und Niederschlag aus dem Climate Data Center des DWD wurden die jährlichen Temperatur- und Niederschlagsmittel je Beobachtungsjahr bayernweit ausgewertet, um mögliche Klima-Trends festzustellen. Außerdem wurden die jährlichen und saisonalen Klimakennwerte in einem $3 \times 3\text{ km}$ Fenster um jeden BDF-Standort gemittelt und für eine Trendanalyse verwendet. Dabei ist zu beachten, dass es sich bei den BDF-Klimaparametern nicht um vor Ort gemessene Werte, sondern um aus den Rasterkarten abgeleitete Werte handelt. In Einzelfällen haben Änderungen des Messnetzes des DWDs einen Effekt auf die in den Rasterzellen abgeschätzten Temperatur- und Niederschlagswerte.

5.4.3.1 Trend Jahresdurchschnittstemperaturen (1985-2018)

Acker

Im Zeitraum von 1985 bis 2018 nahm die Jahresdurchschnittstemperatur auf allen Acker-BDF im Mittel um $0,047\text{ }^\circ\text{C a}^{-1}$ zu. Dies entspricht einer Erwärmung von etwa $1,6\text{ }^\circ\text{C}$ im gesamten Beobachtungszeitraum und ist identisch mit dem bayernweit für Ackerflächen beobachteten Trend (Abb. 41).

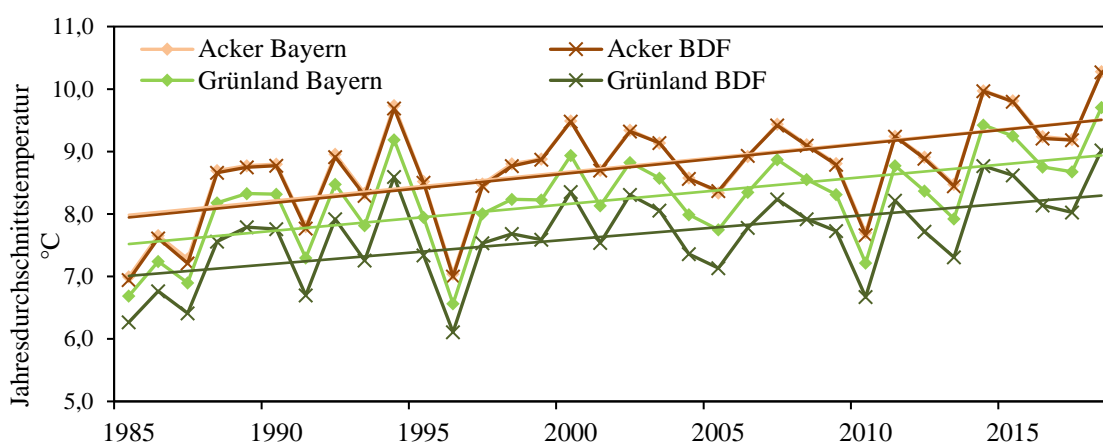


Abb. 41: Temperatur im Beobachtungszeitraum (1985-2018) im bayerischen Mittel und im Mittel für die BDF, unterschieden nach Acker und Grünland (DWD, 2020a); Acker-Bayern: $y=0,046x + 7,9$; $R^2=0,34$; Acker-BDF: $y=0,047x + 7,9$; $R^2=0,35$; Grünland-Bayern: $y=0,043x + 7,5$; $R^2=0,33$; Grünland-BDF: $y=0,039x + 7,0$; $R^2=0,30$.

Die Spannweite der abgeschätzten Erwärmung lag bei Betrachtung der einzelnen BDF zwischen $0,027$ und $0,076$ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$ (vergl. Abb. 42). Die höchste Zunahme war hierbei ein Ausreißer auf der BDF 46, die übrigen Zunahmen lagen alle unterhalb von $0,06$ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Die Entwicklungen sind vorwiegend vom regional übergreifenden Temperatur-Trend der Einzeljahre bestimmt. Dennoch ergeben sich rein rechnerisch für die Änderung der Temperatur auf den Acker-BDF im Beobachtungszeitraum Unterschiede zwischen den Standorten von bis zu $1,1$ $^{\circ}\text{C}$ (ohne BDF 46). Hierbei differenzierten vor allem die Acker-BDF mit eher leichten Temperaturanstiegen stärker aus, wobei sich diese vorwiegend in Schwaben befanden. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionen lag zwischen $0,15$ und $0,58$. Es nahm mit der Höhe der abgeschätzten jährlichen Änderung zu (dunkler gefärbte Säulen in Abb. 42).

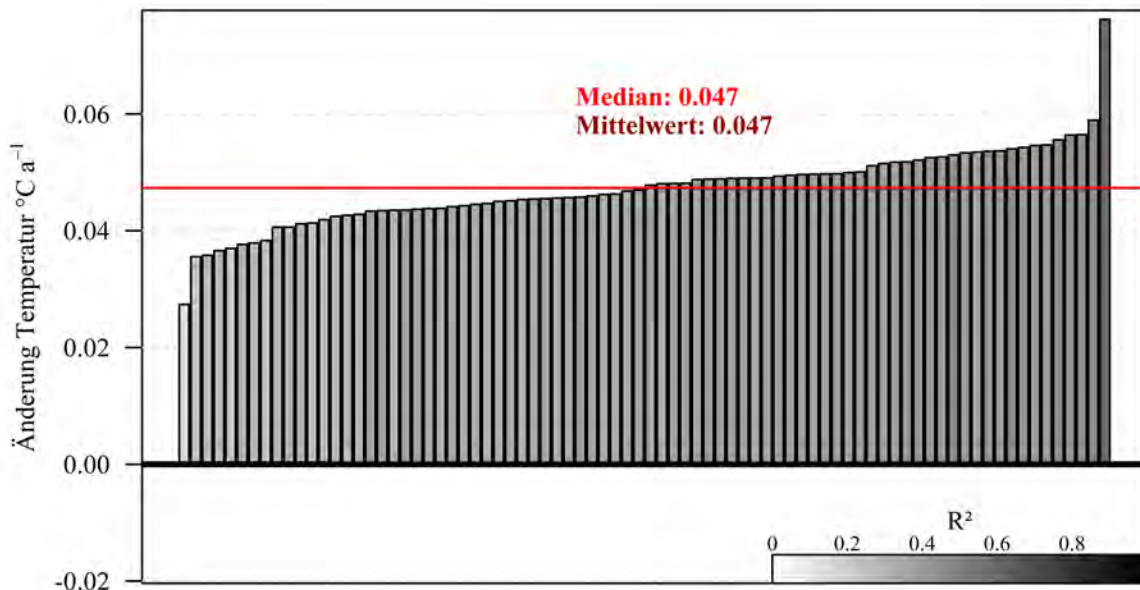


Abb. 42: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen als lineare Trends je Acker-BDF (1985-2018) über den Beobachtungszeitraum in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

Grünland

Im Beobachtungszeitraum nahm die Jahresdurchschnittstemperatur auf allen Grünland-BDF im Mittel um $0,039$ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$ signifikant zu (Abb. 16), was einer Erwärmung von etwa $1,3$ $^{\circ}\text{C}$ im gesamten Beobachtungszeitraum entspricht. Bayernweit betrug die Zunahme $0,043$ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Daraus ergibt sich eine Erwärmung von insgesamt etwa $1,5$ $^{\circ}\text{C}$ innerhalb von 34 Jahren (Abb. 41). Die Grünland-BDF zeigten im Beobachtungszeitraum entsprechend ihrer Verteilung in Bayern (s.o.) eine um ca. $0,6$ $^{\circ}\text{C}$ niedrigere Jahresdurchschnittstemperatur als im Durchschnitt des bayernweiten Grünlands.

Die Spannweite der ermittelten jährlichen Änderungen lag zwischen $0,023$ und $0,057$ $^{\circ}\text{C a}^{-1}$. Daraus ergeben sich Unterschiede für den Beobachtungszeitraum von etwas über 1 $^{\circ}\text{C}$. Die stärkste Zunahme der Temperatur war auf der BDF 42 im Landkreis Regen, gefolgt von der BDF 96 im Landkreis Bad Kissingen festzustellen. Von den geringsten Temperaturzunahmen waren BDF 17 (Landkreis Garmisch-Partenkirchen) und BDF 14 (Landkreis Rosenheim) betroffen.

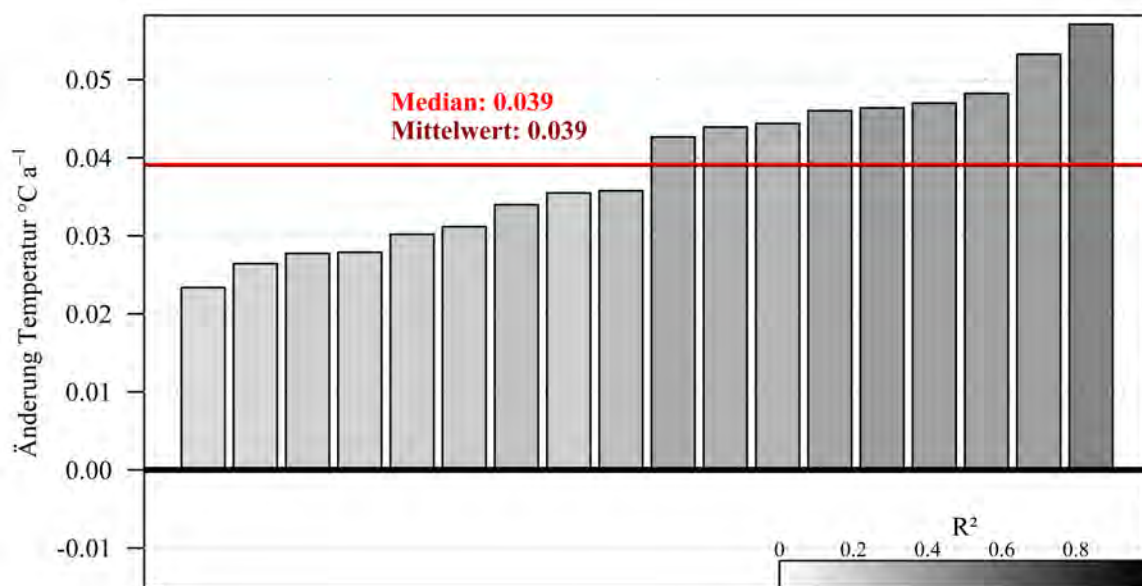


Abb. 43: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperaturen als lineare Trends je Grünland-BDF (1985-2018) über den Beobachtungszeitraum in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

5.4.3.2 Trend Jahresniederschlagssummen (1985-2018)

Acker

Im Mittel für alle Acker-BDF wurde ein signifikanter Rückgang des Niederschlags von $3,2 \text{ mm a}^{-1}$ festgestellt. Dies entspricht einem Rückgang von 109 mm Jahresniederschlag im Beobachtungszeitraum. Für diese hohen Änderungen sind nicht nur extreme Jahre gegen Ende des Beobachtungszeitraums verantwortlich, sondern tatsächlich ein kontinuierlicher Rückgang und das Ausbleiben feuchter Jahre. Der Trend für die bayernweiten Ackerbaugelände bestätigt diese Tendenz (Abb. 44).

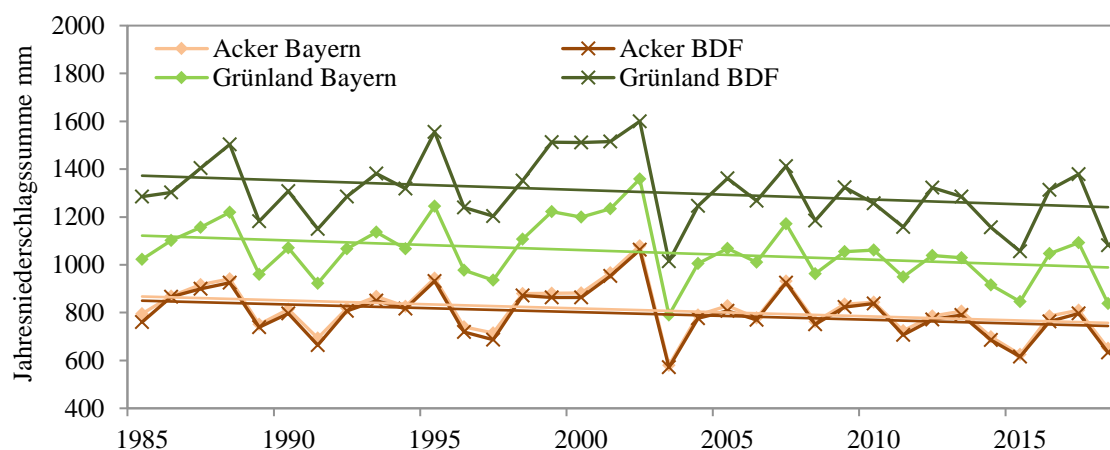


Abb. 44: Jahresniederschlag (mm) im Beobachtungszeitraum im bayerischen Mittel und im Mittel für die einzelnen BDF Standorte, unterschieden nach Acker und Grünland (DWD, 2020b); Acker-Bayern: $y = -3,3x + 871$; $R^2 = 0,10$; Acker-BDF: $y = -3,2x + 853$; $R^2 = 0,35$; Grünland-Bayern: $y = -4,0x + 1126$; $R^2 = 0,10$; Grünland-BDF: $y = -4,0x + 1377$; $R^2 = 0,08$.

Bei den Niederschlägen wurde auf allen Acker-BDF eine negative Entwicklung festgestellt. Das Bestimmtheitsmaß der Regressionen lag jedoch auf Grund des großen Einflusses des spezifischen Beobachtungsjahres mit einer Spannweite von 0,01 bis 0,27 deutlich unter den Trends der Jahresdurchschnittstemperaturen.

Die Spannweite der für die einzelnen Acker-BDF festgestellten Änderungen lag zwischen $-6,3 \text{ mm a}^{-1}$ und $-1,1 \text{ mm a}^{-1}$ (Abb. 45). Das Extrem des modellierten, linearen Rückgangs von -217 mm Jahresniederschlag hochgerechnet für die BDF 95 im Landkreis Bad Kissingen errechnet. Die geringste Abnahme wurde im Landkreis Wunsiedel auf der BDF 75 bestimmt.

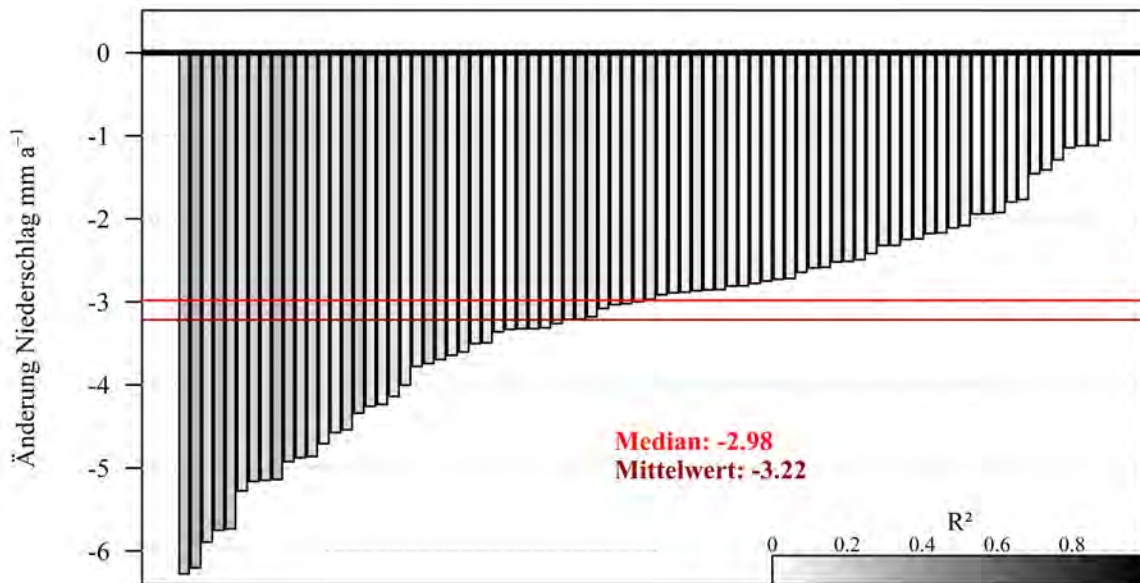


Abb. 45: Entwicklung des Jahresniederschlags als lineare Trends je Acker-BDF über den Beobachtungszeitraum (1985-2018) in mm a^{-1} ; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

Grünland

Im Beobachtungszeitraum nahm der jährliche Niederschlag auf allen Grünland-BDF noch stärker als beim Acker im Mittel um $-4,0 \text{ mm a}^{-1}$ signifikant ab (Abb.19), was einer Abnahme von 136 mm im gesamten Beobachtungszeitraum entspricht. Bayernweit wird der Trend mit einer Abnahme von 4 mm je Jahr im Grünland bestätigt. Die Grünland-BDF zeigten dabei aufgrund ihres Schwerpunkts in Südbayern im gesamten Beobachtungszeitraum eine um ca. 250 mm höhere jährliche Niederschlagsmenge als im bayernweiten Vergleich.

Die Verteilung der ermittelten jährlichen Änderungen für die BDF in Bayern ist Abb. 46 zu entnehmen. Für die ermittelten Änderungen der Jahresniederschläge ergab sich ein signifikanter Zusammenhang mit den durchschnittlichen Niederschlägen, wobei der Rückgang auf BDF mit höheren Jahresniederschlagssummen etwas stärker ausfiel als auf solchen mit geringen Jahresniederschlägen. Besonders deutlich war dies für die BDF mit einer Jahresniederschlagssumme $< 1000 \text{ mm}$, während die BDF mit höheren Niederschlägen eine große Streuung aufwiesen. Ein schwächerer Zusammenhang bestand mit der mittleren Jahrestemperatur. Ein Zusammenhang der Temperaturentwicklung und den klimatischen Verhältnissen auf den BDF (mittlere Jahresdurchschnittstemperatur, mittlere Jahresniederschlagssumme) oder dem Trend der Jahresniederschlagssumme war nicht festzustellen.

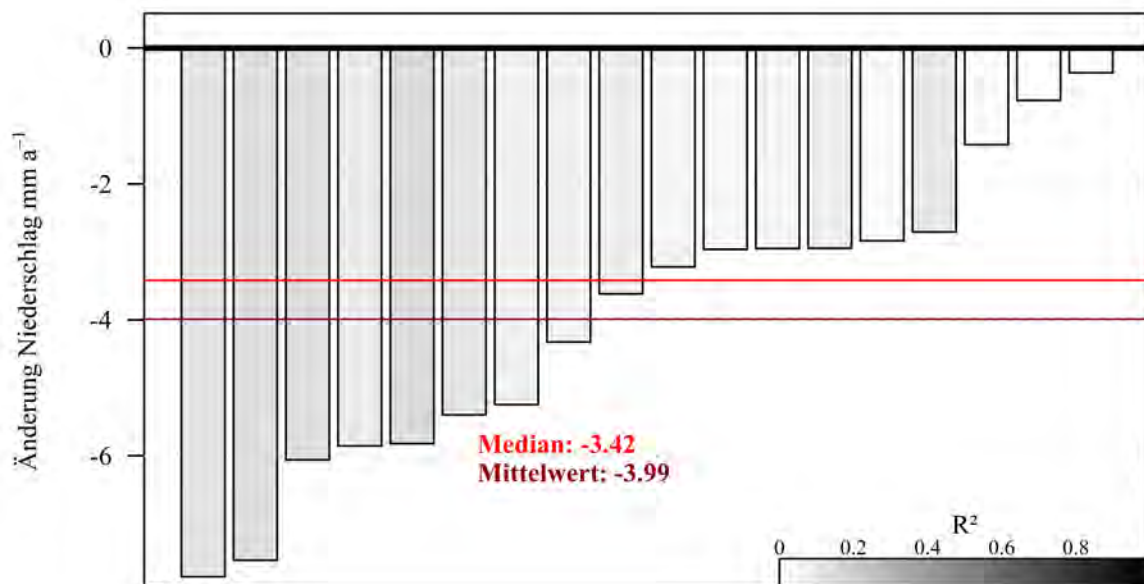


Abb. 46: Entwicklung des Jahresniederschlags als lineare Trends je Grünland-BDF über den Beobachtungszeitraum (1985-2018) in mm a^{-1} ; unterschiedliche Graustufen geben das Bestimmtheitsmaß (R^2) der Regression an.

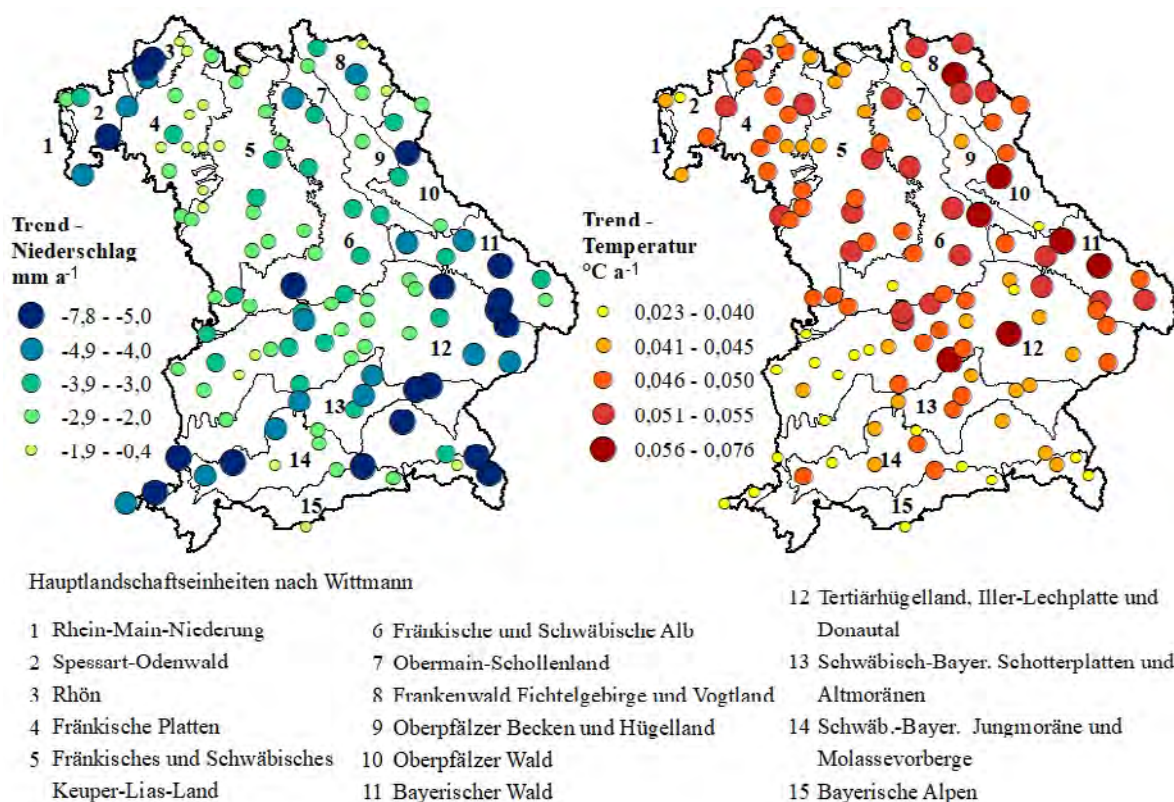


Abb. 47: Entwicklung der Jahresdurchschnittstemperatur in $^{\circ}\text{C a}^{-1}$ (rechts) und der Jahresniederschläge mm a^{-1} (links) für die BDF und den Zeitraum von 1985 bis 2018; ermittelt aus Rasterdaten des DWD (DWD, 2020a; DWD, 2020b; Geobasisdaten BVV, 2021; Wittmann, 1991).

6 Betriebsdaten und Bewirtschaftung

6.1 Betriebsbezogene Beschreibung

Bei der Auswahl der BDF-Betriebe war neben den Standortbedingungen (vergl. Kapitel 5) auch die Bereitschaft zu einer langfristigen Teilnahme ein Kriterium für deren Auswahl. Dies wurde zum Teil durch die Teilnahme von staatlichen und städtischen Betrieben erfüllt, auf deren Flächen neun BDF eingerichtet wurden. Acht BDF werden von Stiftungen oder Klöstern bewirtschaftet. Überwiegend handelt es sich bei den BDF-Betrieben aber um selbständige Einzelunternehmen.

Von den insgesamt bisher betriebenen 140 Beobachtungsflächen werden nur 42 seit Beginn des Programms von denselben Landwirt/innen bewirtschaftet. Jährlich werden im Schnitt drei BDF an Hofnachfolger übergeben oder weiterverpachtet, sodass auf 79 BDF inzwischen ein oder mehrere Bewirtschafteterwechsel stattgefunden haben. In der Regel ist ein Weiterbetrieb der Beobachtungsparzelle mit den neuen Bewirtschaftern möglich. Auf 19 Beobachtungsflächen wurde das Monitoring inzwischen eingestellt (vergl. Kapitel 2). Im Jahr 2018 waren 121 BDF in Zusammenarbeit mit 120 Bewirtschaftern im BDF-Programm.

Wirtschaftliche und gesellschaftliche Entwicklungen spiegeln sich auch bei den Bodendauerbeobachtungsflächen wider. Der Anteil ökologisch bewirtschafteter Flächen stieg von 1985 bis 2018 von null (erste Öko-BDF 1988) auf 13 %. Der Anteil der viehhaltenden Betriebe hat sich von über 80 % auf fast 60 % aller BDF-Betriebe reduziert. Seit 2008 investierten zehn Betriebe in eine Biogasanlage.

Im Rahmen des BDF-Programms wurden überwiegend schlagbezogene Bewirtschaftungsdaten erhoben, betriebsbezogene Daten beschränken sich auf Angaben zur Tierhaltung und zum Bewirtschaftungssystem (vergl. Kapitel 3.1).

Für den langjährigen Vergleich mit den bayernweiten Daten der landwirtschaftlichen Betriebe wurde auf unterschiedliche Datenquellen zurückgegriffen. Soweit verfügbar, war dies die InVeKoS-Datenbank des StMELF (Stand 2021). Ab 1993 stammen aus dieser Datenbank Zahlen zur Anzahl der landwirtschaftlichen Betriebe und zur landwirtschaftlich genutzten Fläche, ab 1995 Zahlen zu viehhaltenden Betrieben, ab 2006 Zahlen zu den Tiergruppen. Für frühere Zeiträume wurden Betriebszahlen, Anbaustatistiken und Viehbestände aus den statistischen Jahrbüchern des Bayerischen Landesamtes für Statistik und Datenverarbeitung verwendet (LfSD, 1987-1998). Angaben zu den Betrieben des Ökolandbaus stammen vor 2003 von den Anbauverbänden (LVÖ, 2021).

Aufgrund der unterschiedlichen Quellen unterliegen die dargestellten bayernweiten Trends auch immer Schwankungen, die auf geänderte Zählweisen zurückzuführen sind. Ziel der folgenden Auswertungen war es, einen Vergleich zwischen den BDF und den bayernweiten Betriebs- und Anbauverhältnissen herzustellen und einen Eindruck von der Repräsentativität zu gewinnen. Zudem ist für viele der beim Bodendauerbeobachtungsprogramm im Fokus stehende Untersuchungsparameter, wie beispielsweise dem Humusgehalt von einem Bewirtschaftungseinfluss auszugehen oder ein solcher zumindest zu prüfen. Sollte das Monitoring Veränderungen der bayerischen Böden feststellen können, sind häufig auch Fragen hinsichtlich der Rolle der landwirtschaftlichen Praxis bei den Ursachen und auch bei möglichen Gegenmaßnahmen von Bedeutung. Hierbei ist neben der Bewertung der Repräsentativität der BDF für Bayern auch eine detaillierte Aufzeichnung und Beschreibung der landwirtschaftlichen Nutzung auf den BDF für eine mögliche Aufklärung von Ursachen unerlässlich. Hier beschriebene Bewirtschaftungsparameter werden bei der explorativen

Ursachenforschung als mögliche Erklärungsvariablen für gefundenen Änderungen auf den BDF herangezogen.

6.1.1 Entwicklung der Bewirtschaftungssysteme (öko/konventionell)

Insgesamt fünf der 80 dauerhaft als Acker genutzten BDF wurden im Zeitraum von 1985 bis 2018 zeitweise ökologisch bewirtschaftet, nur eine davon seit mehr als 25 Jahren (seit 1991). Eine Acker-BDF wurde seit 1992 ökologisch bewirtschaftet, wechselte aber nach sechs Jahren wieder zur konventionellen Bewirtschaftung. Die übrigen drei wurden zwischen 2010 und 2016 von konventionell auf ökologisch umgestellt.

Von den 18 dauerhaft als Grünland genutzten BDF wurden im Beobachtungszeitraum fünf Flächen ökologisch bewirtschaftet, darunter ein Betrieb, der seit 1988 Ökolandbau betreibt. Drei weitere Flächen wurden zwischen 1997 und 2000 auf ökologische Bewirtschaftung umgestellt und eine weitere Grünland-BDF im Jahr 2008.

Der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Flächen beträgt zum Ende des Beobachtungszeitraums (2018) beim Acker 6 % (von 80) und beim Grünland 28 % (von 18). Bei den 12 BDF mit Nutzungsänderung sind weitere sechs Betriebe (50 %) zu finden, die nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus arbeiten. Die Sonderkulturstandorte (Hopfen, Wein, Obst) werden alle konventionell bewirtschaftet.

Bayernweit betrug der Anteil der ökologisch bewirtschafteten Ackerflächen im Jahr 2018 7 % an der gesamten Ackerfläche, der Anteil des ökologischen Grünlands 15 % vom gesamten Grünland. Die bayernweite Zunahme der ökologisch bewirtschafteten Flächen spiegelt sich auch im BDF-Programm wider (Abb. 48), wobei die ökologisch bewirtschafteten Grünlandflächen im BDF-Programm zumindest zum Ende des Beobachtungszeitraums den bayernweiten Anteil übertreffen und daher im BDF-Programm überproportional vertreten sind.

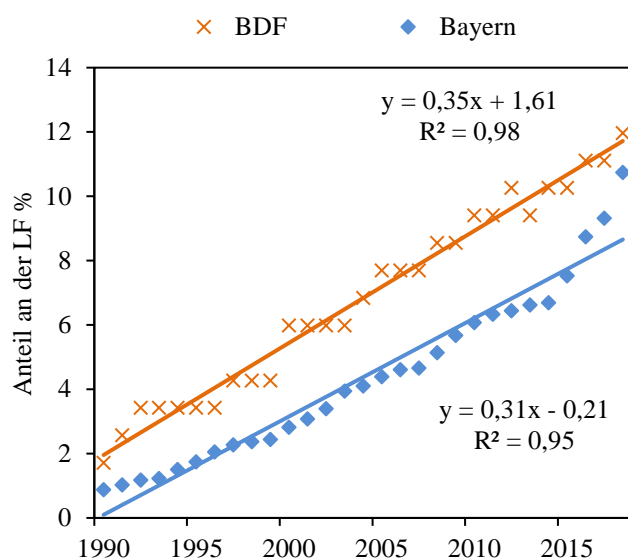


Abb. 48: Anteil der BDF mit ökologischer Bewirtschaftung (Acker, Grünland, Flächen mit Nutzungsänderung und Sonderkulturen, $n=117$) über den Beobachtungszeitraum im Vergleich zur bayernweiten Entwicklung an der landwirtschaftlich genutzte Fläche (LF, incl. Acker, Grünland, Sonderkulturen), Quelle: 1990-2002: Angaben der Anbauverbände Demeter, Bioland, Biokreis und Naturland (LVÖ, 2021), ab 2003: basierend auf den Angaben der in Bayern zugelassenen und beliebigen Öko-Kontrollstellen (LfL, 2021)

6.1.2 Entwicklung Tierhaltung

Von den BDF Betrieben werden grundlegende Daten zur Viehhaltung abgefragt, die die Art der gehaltenen Tiere und die GV je Hektar des gesamten Viehbestands umfassen. Mitte der 80er Jahre waren 85 % viehhaltende Betriebe unter den 117 ausgewerteten BDF-Betrieben. Deren Anteil sank bis 2018 auf 63 %. Während die Anzahl der betrachteten BDF-Betriebe

konstant blieb, halbierte sich die Anzahl aller landwirtschaftlichen Betriebe bayernweit von 1986 bis 2018 (StMELF, 2000; StMELF 2018). Der Anteil der viehhaltenden Betriebe in Bayern folgte im gleichen Zeitraum einem mit den BDF-Viehhaltern vergleichbaren, abnehmenden Trend von -0,7 Prozentpunkten je Jahr (vergl. Abb. 49).

Insgesamt reduzierte sich die Anzahl der BDF-Rinderhalter (Milchvieh und Mast) seit 1986 um zehn von 69 auf 59 (entspricht einem Minus von 14 %), während bei Geflügel-, Schaf- und Ziegenhaltung aufgrund der geringen Anzahl der Halter kein klarer Trend auszumachen war. Die Schweinehaltung nahm bis 2007 von 18 auf 22 Betriebe zu und fiel bis 2018 auf 16 BDF-Betriebe zurück (-11 %).

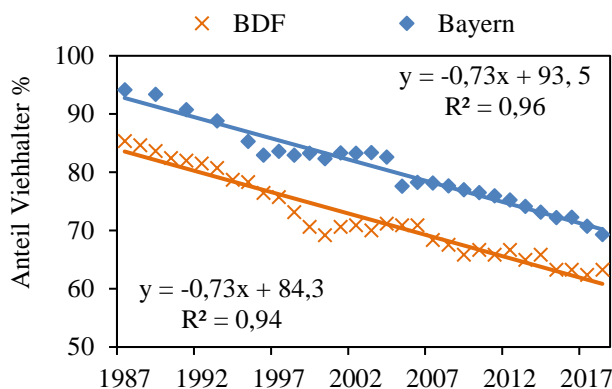


Abb. 49: Entwicklung der Anteile der viehhaltenden BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern im Beobachtungszeitraum; Quelle bis Abb. 51: 1987-1994: Statistische Jahrbücher Bayern (LfSD 1990-1998): berücksichtigt sind Betriebe > 5ha LF; ab 1995: InVeKoS Auswertungsjahre 1995-2018: alle Betriebe mit Mehrfachantragstellung; Einführung Betriebsprämie 2005 führt zum Anstieg der Gesamt-Betriebszahlen, ab 2006 Auswertung nach Tiergruppen.

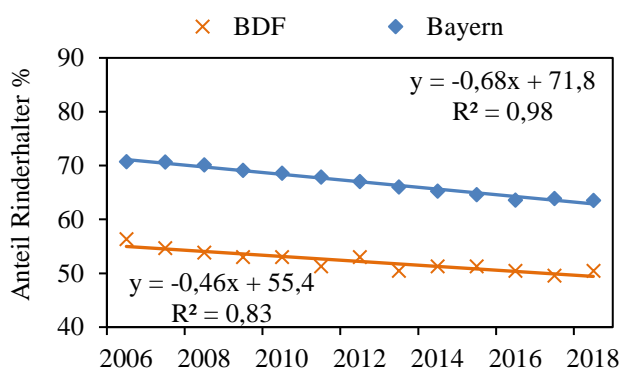


Abb. 50: Entwicklung der Anteile rinderhaltender BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern von 2006 bis 2018;

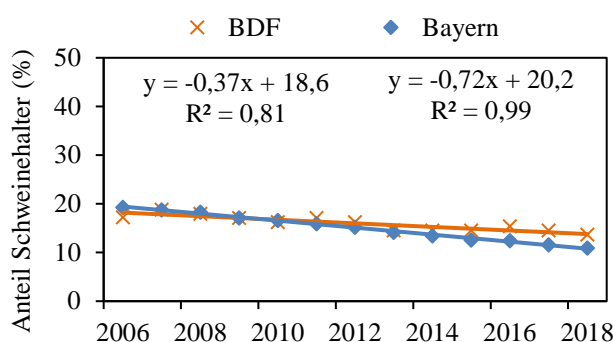


Abb. 51: Entwicklung der Anteile schweinehaltender BDF-Betriebe an der Gesamtzahl der Betriebe im Vergleich zur Entwicklung in Bayern von 2006 bis 2018.

Der Trend für den Anteil der tierhaltenden Betriebe an der Gesamtzahl aller Betriebe für den Zeitraum von 2006 bis 2018 zeigt für beide Tiergruppen (Rinder und Schweine) eine Abnahme, die bayernweit mit jeweils 9 Prozentpunkten etwas höher ausfällt als bei den BDF-Betrieben. Dort nimmt der Anteil der Rinderhalter um 5, der der Schweinehalter um ca. 4 Prozentpunkte ab (vergl. Abb. 50 und Abb. 51). Das insgesamt niedrigere Niveau der BDF-Viehhalter (Abb. 49) ist zurückzuführen auf den hohen Anteil an Betrieben mit geringer Stückzahl Vieh, die in der bayerischen Statistik enthalten sind, bei den BDF-Betrieben jedoch keine Rolle spielen.

Die Auswertung der Großvieheinheiten je Hektar (Tab. 27) zeigt einen größeren Anteil der Betriebe mit geringer Bestandsdichte bis 0,5 GV/ha bei den bayerischen Viehhaltern (24 %) als bei den BDF-Betrieben (16 %), die größtenteils (51 %) Tierbestände mit 1-2 GV/ha besitzen. Höhere GV-Zahlen > 2 GV/ha sind dagegen bei den gesamt-bayerischen Betrieben etwa doppelt so häufig (12 %) anzutreffen als bei den BDF-Betrieben (7 %).

Tab. 27: Anteile der Betriebe je Größenklasse der Tierbestandsdichte in Großvieheinheiten (GV) je Hektar landwirtschaftlich genutzter Fläche (LF) für den Zeitraum von 2006 - 2018 (InVeKoS Auswertungsjahre 2006-2018)

Anteile der Betriebe nach Größenklassen GV/ha LF (2006 bis 2018)					
GV/ha LF	> 0 - 0,5	> 0,5 - 1	> 1 - 2	> 2 - 3	> 3
BDF	15,5	27,2	50,6	6,6	0,1
Bayern	24,0	22,0	41,8	10,1	2,0

6.2 Beschreibung der schlagbezogenen Bewirtschaftungsparameter bei Ackernutzung

Zu den schlagbezogenen Bewirtschaftungsparametern bei Acker, die jährlich von allen BDF-Betrieben abgefragt werden, gehören Angaben zur angebauten Kultur, Bodenbearbeitung, organischen und mineralischen Düngung, Zwischenfruchtanbau und zum Verbleib der Ernterückstände der Vorfrucht (vergl. Kapitel 3.1). Alle Angaben beziehen sich auf die Bewirtschaftung im Bereich der BDF-Parzelle innerhalb des Ackerschlags.

6.2.1 Überblick über die angebauten Ackerkulturen

Für den Beobachtungszeitraum liegen von allen 80 ausgewerteten Acker-BDF jährliche Angaben zur Hauptkultur vor. Die Acker-Kulturen wurden in 10 Kulturarten-Gruppen (vergl. Tab. 28) eingeteilt und mit den bayernweit angebauten Ackerkulturen verglichen. Hierzu wurden je Jahr die Anteile je Gruppe an den 80 BDF-Ackerstandorten ausgewertet und für den gesamten Zeitraum gemittelt.

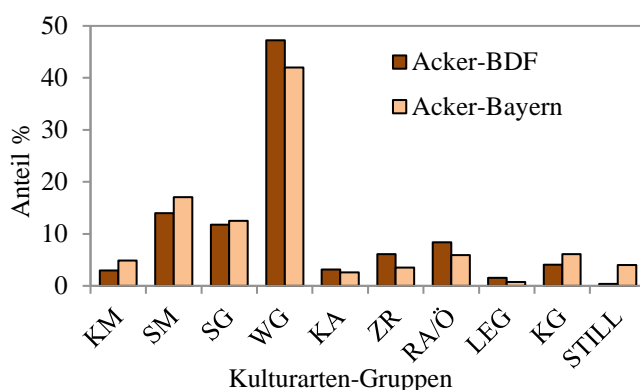


Abb. 52: Durchschnittlicher Anteil angebaute Kulturarten auf den Ackerflächen in Bayern und den Acker-BDF während des Beobachtungszeitraums von 1985 bis 2018; Abkürzungen Kulturarten siehe Tab. 28; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Die Abb. 52 zeigt die mittleren Anteile über den gesamten Beobachtungszeitraum im Vergleich zu den bayernweiten Kulturartenanteilen. Um die bayernweiten Anteile für den gleichen Zeitraum zu ermitteln, wurden anhand der Statistischen Jahrbücher von Bayern für die Jahre 1985 bis 1992 (LfSD, 1987-1995) und ab 1993 anhand der Daten der InVeKoS-Datenbank (Stand 2021) für jedes Jahr die Anteile an der gesamten Ackerfläche (ca. 2 Mio. ha) in Bayern ausgewertet und davon der Mittelwert des Gesamtzeitraums gebildet. Dauerkulturen, Gemüse, Kräuter, Zierpflanzen, Obst und andere Gehölzkulturen sind nicht in der hier ausgewerteten bayernweiten Ackerfläche enthalten.

Tab. 28: Kennwerte zur Trendentwicklung der Kulturarten im Acker für die BDF und bayernweit

Kulturarten-Gruppe		Differenz 2018- 1985	Entwick- lung/ Jahr	Entwick- lung Ge- samtzeit- raum	R ²	Langjähriger, mittlerer Anteil an Ackerkultu- ren 1985-2018
BDF-Ackerstandorte (n =80)		(Prozentpunkte)				(%)
KM	Körnermais	0,0	0,113	+3,8	0,231	2,9
SM	Silomais	7,5	0,197	+6,7	0,307	14,0
	Mais gesamt	7,5	0,310	+10,5	0,458	17,0
SG	Sommergetreide	-11,3	-0,251	-8,5	0,376	11,8
WG	Wintergetreide	2,5	0,081	+2,8	0,020	47,2
	Getreide gesamt	-8,8	-0,170	-5,8	0,086	59,0
KA	Kartoffeln	1,3	-0,041	-1,4	0,081	3,1
ZR	Zuckerrüben	-2,5	-0,068	-2,3	0,077	6,1
SHF	Sonstige Hackfrüchte	0,0	-0,006	-0,2	0,005	0,5
RA/Ö	Raps, sonst. Ölfrüchte	0,0	-0,023	-0,8	0,004	8,4
LEG	Körnerleguminosen	0,0	-0,002	-0,1	0,000	1,5
KG	Klee gras/-gemenge	2,5	0,005	+0,2	0,001	4,1
STILL	Stilllegungen	0,0	-0,005	-0,2	0,007	0,4
Bayern-Ackerflächen (ca. 2 Mio ha)		(Prozentpunkte)				(%)
KM	Körnermais	3,9	0,145	+4,9	0,874	4,8
SM	Silomais	3,4	0,122	+4,1	0,265	17,1
	Mais gesamt	7,2	0,267	+9,1	0,688	21,9
SG	Sommergetreide	-15,0	-0,432	-14,7	0,928	12,5
WG	Wintergetreide	4,6	0,215	+7,3	0,583	42,0
	Getreide gesamt	-10,3	-0,217	-7,3	0,654	54,5
KA	Kartoffeln	-1,9	-0,047	-1,6	0,900	2,6
ZR	Zuckerrüben	-0,5	-0,032	-1,1	0,649	3,5
SHF	Sonstige Hackfrüchte	-1,1	-0,034	-1,1	0,584	0,7
RA/Ö	Raps, sonst. Ölfrüchte	3,2	0,039	+1,3	0,091	5,9
LEG	Körnerleguminosen	1,0	0,019	+0,6	0,379	0,8
KG	Klee gras/-gemenge	0,3	0,004	+0,1	0,010	6,1
STILL	Stilllegungen	2,2	0,000	0,0	0,000	4,0

Tab. 28 zeigt, dass im Mittel aller Jahre die Anteile der BDF-Ackerkulturen den bayernweit angebauten Ackerkulturen weitgehend entsprechen. Körnerleguminosen, Wintergetreide, Kartoffeln, Zuckerrüben und Raps kommen auf den BDF etwas häufiger vor als bayernweit, Mais, Sommergetreide und Klee gras etwas weniger. Vorübergehende Stilllegungen/Grünbrachen, die in Bayern während des Beobachtungszeitraums durchschnittlich auf 4 % der Ackerflächen vorkamen, wurden auf allen Acker-BDF im gesamten Zeitraum nur zehnmals beobachtet (entspricht einem Anteil von durchschnittlich 0,4 %). Den größten Anteil an der Ackerfläche nimmt das Wintergetreide ein (BDF 47 %, Bayern 42 %), gefolgt vom Mais (KM + SM: BDF 17 %, Bayern 22 %) und dem Sommergetreide (BDF 12 %, Bayern 13 %). Raps (inkl. sonstiger Ölfrüchte), Zuckerrüben und Kartoffeln werden im langjährigen Mittel auf 8, 6 und 3 % der BDF-Flächen angebaut, bayernweit auf 6, 4 und 2,5 % der Ackerfläche. Zur Gruppe „Klee gras“ zählen hier alle ein- oder mehrjährigen in der Regel

„rasenbildenden“ Ackerfutter- bzw. Gründüngungspflanzen (z.B. auch Ackergras, Luzerne, Grünbrache im Ökolandbau) mit bayernweit 6 % und 4 % Anteil bei den BDF-Ackerstandorten.

Zusammengefasst wurde in Bayern im Zeitraum von 1985 bis 2018 durchschnittlich auf 55 % der Ackerfläche Getreide angebaut. Für die Acker-BDF traf dies für 59 % der Standorte zu. Reihenkulturen (Mais, KA, ZR und sonstige Hackfrüchte) nahmen in Bayern 29 %, bei den BDF 27 % ein. Auch Mais hatte einen um fast 5 Prozentpunkte geringeren Anteil auf den BDF als in ganz Bayern, was auch durch den Unterschied beim Anteil der viehhaltenden Betrieben erklärt werden kann. Allerdings nahm der Maisanbau auf den BDF im Laufe der Jahre stärker zu als bayernweit. Raps und Körnerleguminosen sind in Bayern mit zusammen 7 % geringer vertreten als auf den Acker-BDF mit 10 % im langjährigen Mittel. Klee gras und Stilllegungen dagegen nehmen in Bayern mit 10 % eine größere Fläche ein als bei BDF mit nur gut 4 % der Ackerstandorte.

6.2.2 Beschreibung und Entwicklung der angebauten Ackerkulturen

Bayernweit lassen sich seit Mitte der 80er Jahre bei den meisten Ackerkulturen Veränderungen der Anbauhäufigkeit feststellen, die politische Entscheidungen oder wirtschaftliche Entwicklungen widerspiegeln. Bei den BDF-Standorten sind die jährlichen Schwankungen aufgrund der geringen Stichprobenzahl wesentlich ausgeprägter und die Trends nicht immer so deutlich. Dennoch zeichnen auch die 80 Acker- BDF die wichtigsten Trends in Bayern, wie die Zunahme des Maisanbaus oder den Rückgang von Sommergetreide, weitgehend nach.

Räumliche Unterschiede in Bayern bei den Anteilen der Ackerkulturen an der langjährigen Fruchtfolge der einzelnen BDF zeigen die Abb. 53 und Abb. 54 für den Beobachtungszeitraum von 1986 bis 2018. Acker-BDF ohne die jeweilige Kultur in der Fruchtfolge sind in den Karten nicht dargestellt. Deutliche regionale Schwerpunkte sind beim Körnermais, Zuckerrüben und Kartoffeln erkennbar. Sowohl im BDF-Programm als auch bei Betrachtung der bayernweiten Ackerflächen (Karten zur Agrarstruktur Bayern: Halama, 2021) ist der Kartoffelanbau schwerpunktmäßig entlang der Donau (Donaumoos, Gäuboden). Der Zuckerrübenanbau hat seinen Schwerpunkt ähnlich wie der Kartoffelanbau entlang der Donau und zusätzlich im Bereich der Fränkischen Platten. Körnermais nimmt bei BDF und in Bayern vor allem im Tertiärhügelland einen überdurchschnittlichen Anteil an der Ackerfläche ein.

Beim Raps ist bei den Acker-BDF ein höherer Anteil an der Fruchtfolge in Nordbayern feststellbar. Auch bayernweit nimmt der Raps in Unterfranken und der Fränkischen und Schwäbischen Alb einen überdurchschnittlichen Anteil an der Ackerfläche ein.

Silomais und vor allem Wintergetreide sind im BDF-Programm überregional mit hohen Anteilen an der Fruchtfolge vertreten, beim Wintergetreide mit den höchsten Anteilen im Bereich der fränkischen Platten. Beim Silomais ist der Anteil an der Ackerfläche in Bayern vor allem dort besonders hoch, wo die typischen Grünlandgebiete beginnen und der Ackeranteil niedrig ist. Dort wird Silomais häufig als Ackerfutterpflanze im Wechsel mit Klee gras angebaut. Ein weiterer Schwerpunkt des Silomaisanbaus in Bayern liegt in Mittelfranken. Im BDF-Programm sind die höchsten Silomaisanteile (über 70 % der Fruchtfolge) ebenfalls auf einer BDF in Mittelfranken und im bayerischen Wald zu finden.

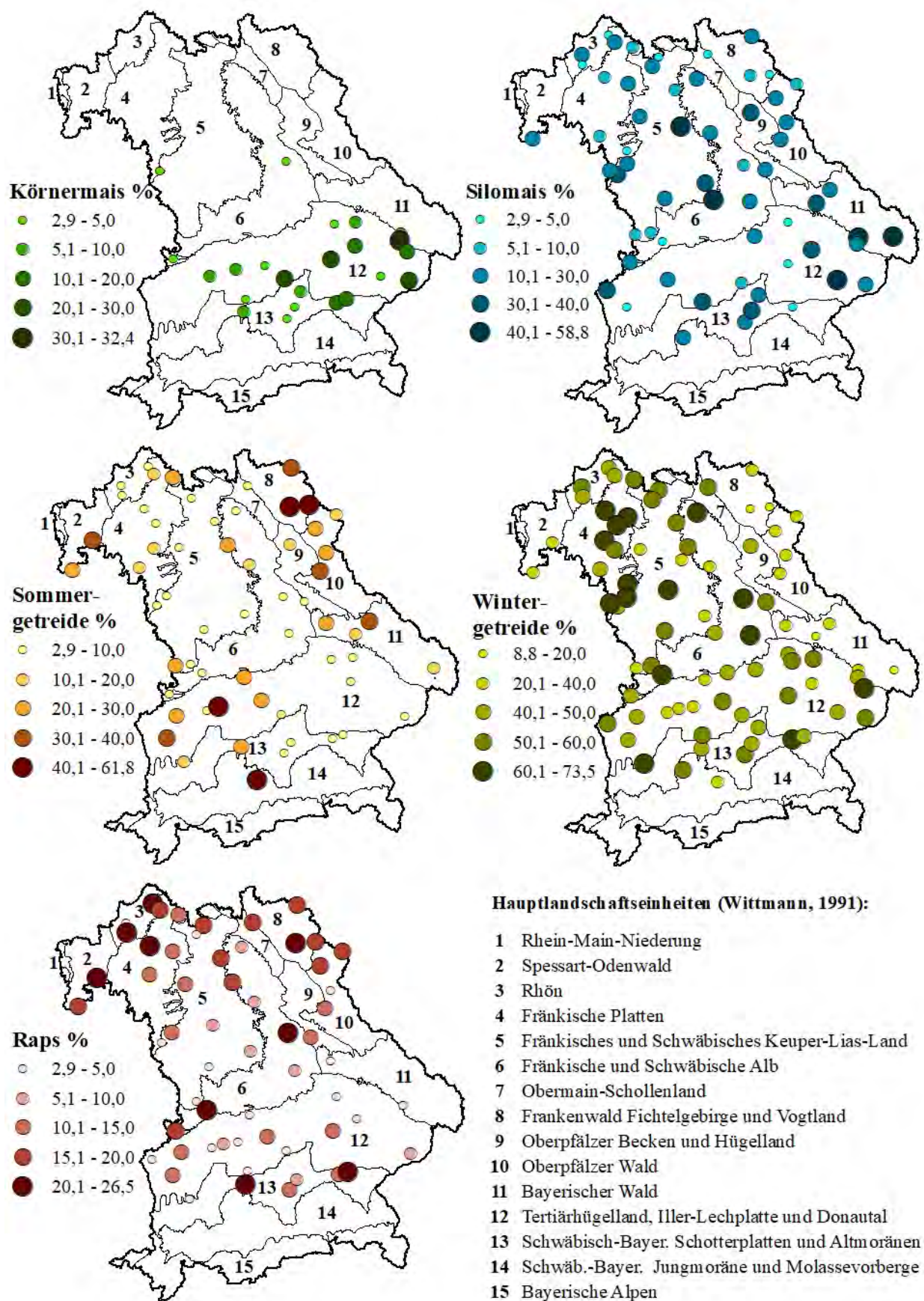


Abb. 53: Anteile der angebaute Ackerkulturen je BDF im Beobachtungszeitraum

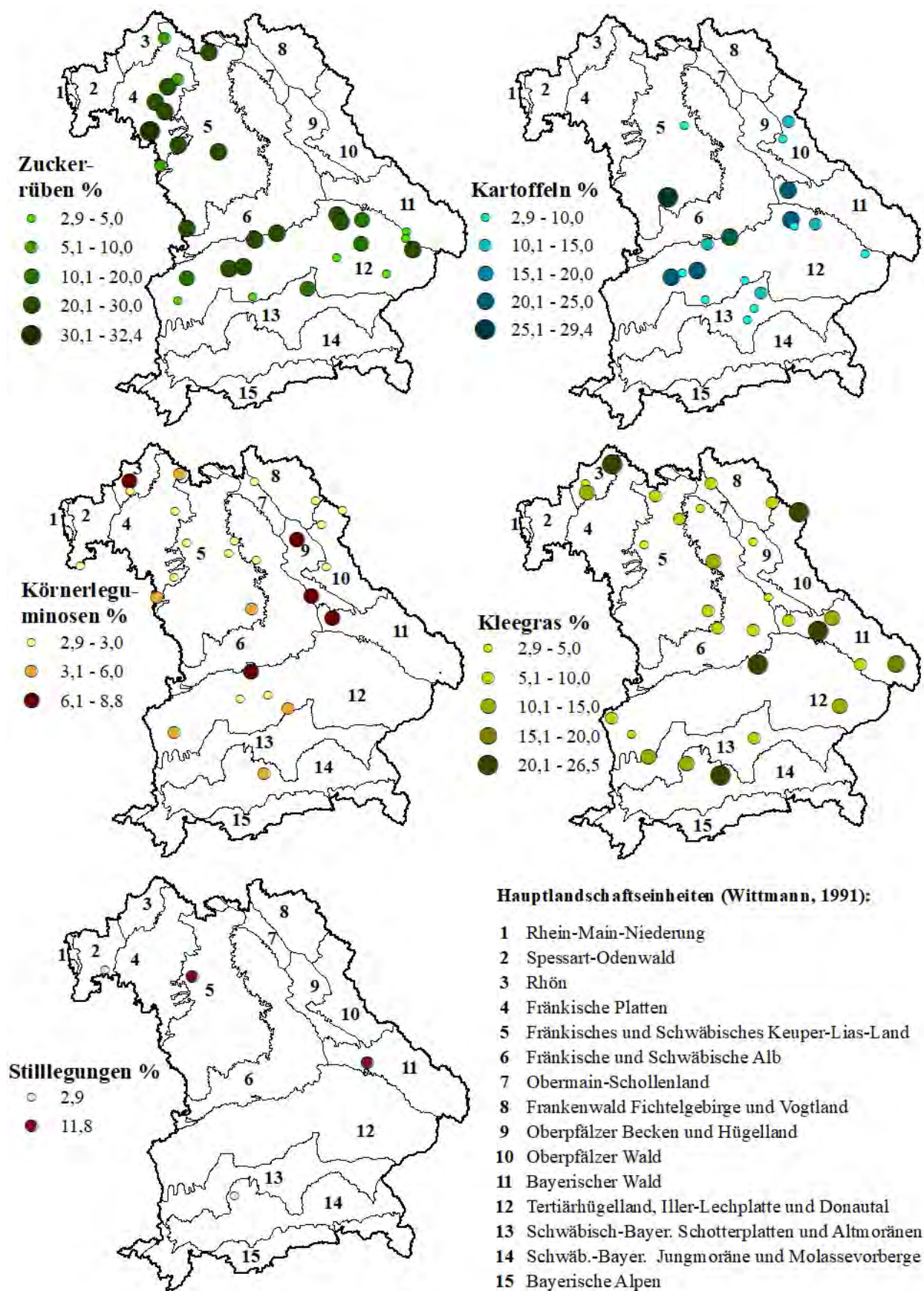


Abb. 54: Anteile der angebauten Ackerkulturen je BDF im Beobachtungszeitraum

Die Sommergerste nimmt bayernweit rund um München und in Oberfranken ihren höchsten Anteil an der Ackerfläche ein, was sich auch bei den Acker-BDF in der Auswertung des Sommergetreides wiederfindet.

In Bayern sind Körnerleguminosen (vor allem Erbsen) tendenziell häufiger nördlich der Donau zu finden, Klee gras nimmt in den Gebieten mit hohem Grünlandanteil (und überdurchschnittlicher Rinderhaltung) einen überdurchschnittlichen Anteil in der Fruchtfolge ein.

Insgesamt bestätigt sich, dass die Acker-BDF mit ihren regionalen Fruchtfolgeanteilen vergleichbar sind mit den Schwerpunktgebieten der ausgewerteten Kulturen in Bayern.

6.2.2.1 Mais

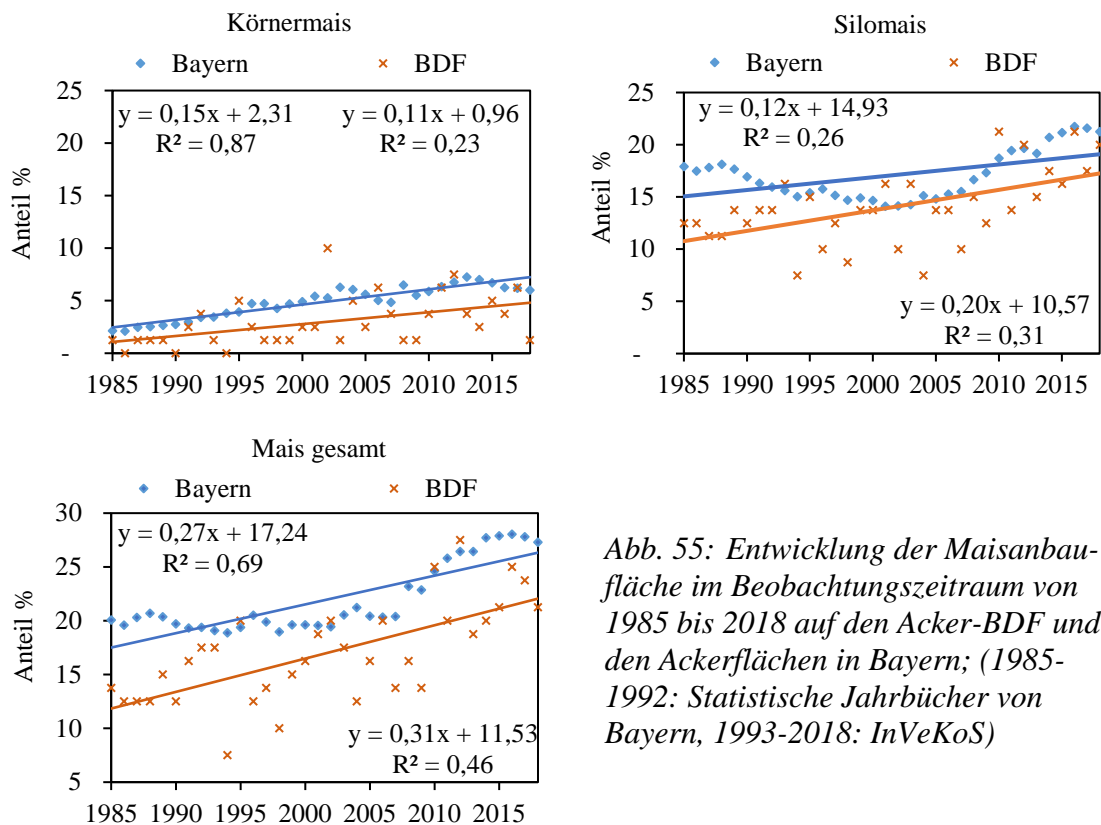


Abb. 55: Entwicklung der Maisanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Beim Körnermais beträgt die lineare Zunahme in ganz Bayern im Beobachtungszeitraum fast 5 Prozentpunkte und folgt damit einem klar steigenden Trend, während der Silomais-Anteil bis 2003 abnahm und ab 2005 als Folge des durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) geförderten Ausbaus der Biogasproduktion von 15 auf über 20 % anstieg. Die absolute Maisfläche in Bayern stieg von ca. 412.000 ha im Jahr 1985 auf ca. 545.000 ha (27 % der Ackerfläche ohne Sonderkulturen) im Jahr 2018 (vergl. Abb. 55).

Bei den Acker-BDF zeigte sich beim Mais insgesamt ein noch höherer Anstieg von 10 Prozentpunkten bis 2018, wobei der Maisanteil mit 21 % am Ende des Beobachtungszeitraums weiterhin unter dem bayerischen Niveau blieb. Dabei nahm der Silomais-Anteil bei Acker-BDF stärker zu (+6,5 Prozentpunkte), als der Anteil des Körnermais in der Fruchtfolge (+3,7 Prozentpunkte) (vergl. Abb. 55).

Auf 13 Acker-BDF wurde im gesamten Zeitraum weder Körnermais noch Silomais angebaut. Auf gut der Hälfte der BDF (42 Standorte) betrug der Maisanteil in der Fruchtfolge maximal 20 % (Anbau durchschnittlich alle 5 Jahre). Im Durchschnitt alle 3 oder 4 Jahre

wurde Mais bei 18 BDF angebaut, bei sieben Standorten im Schnitt jedes zweite Jahr. Auf 83 % der mit Mais bestellten Äcker wurde Silomais geerntet. Körnermais wurde nur auf 23 BDF angebaut, der größte Teil davon in Südbayern (vergl. Abb. 56).

Betrachtet man den Maisanbau jeder einzelnen BDF, so konnten deutliche Änderungen des Maisanteils von 1985 bis 2018 bei 10 BDF beobachtet werden (vergl. Tab. 29). Von den acht BDF, für die eine deutliche Zunahme des Silomaisanbaus festzustellen war, wurde auf zweien eine Biogasanlage in Betrieb genommen. Auf einer Acker BDF wurde ein deutlicher Rückgang des Silomaisanbaus festgestellt, da hier innerhalb der letzten 10 Jahre acht Jahre Klee gras angebaut wurde.

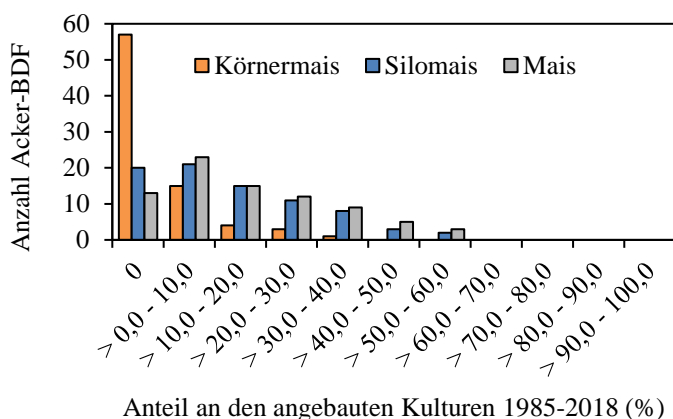


Abb. 56: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Körnermais (KM), Silomais (SM) und Mais gesamt in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Tab. 29: Anzahl der BDF mit statistisch belegbarer Zu- und Abnahme der Kulturarten im Beobachtungszeitraum 1985-2018.

Gruppe	Beschreibung	Zunahme	Abnahme	ohne deutliche Änderung
SM	Silomais	8	1	71
KM	Körnermais	1		79
Mais gesamt		9	1	70
WG	Wintergetreide	1	2	77
SG	Sommergetreide		2	78
Getreide gesamt			4	
KA	Kartoffeln		1	79
ZR	Zuckerrüben			80
RA/Ö	Raps	1		79
LEG	Körnerleguminosen			80
KG	Klee gras			80
STILL	Stilllegungen			80

6.2.2.2 Getreide

Mit -14 Prozentpunkten kann bayernweit ein klar abnehmender Trend des Sommergetreide-Anteils festgestellt werden. In absoluten Zahlen nahm das Sommergetreide im Jahr 1985 noch über 457.000 ha ein, 33 Jahre später nur noch gut 145.000 ha. Der Anteil des Wintergetreides an der Ackerfläche nahm in Bayern dagegen zu (+7) in absoluten Zahlen von knapp 791.000 ha auf über 861.000 ha im Jahr 2018.

Im Beobachtungszeitraum nahm der Anteil an Sommergetreide bei den Acker-BDF deutlich um -11 Prozentpunkte ab und erreichte im Jahr 2018 mit 3 BDF, auf denen Sommergetreide

angebaut wurde, sein bisheriges Minimum. Der Anteil an Wintergetreide stieg im Vergleich zu den bayernweiten Zahlen nur gering an (+3 Prozentpunkte) (vergl. Abb. 57).

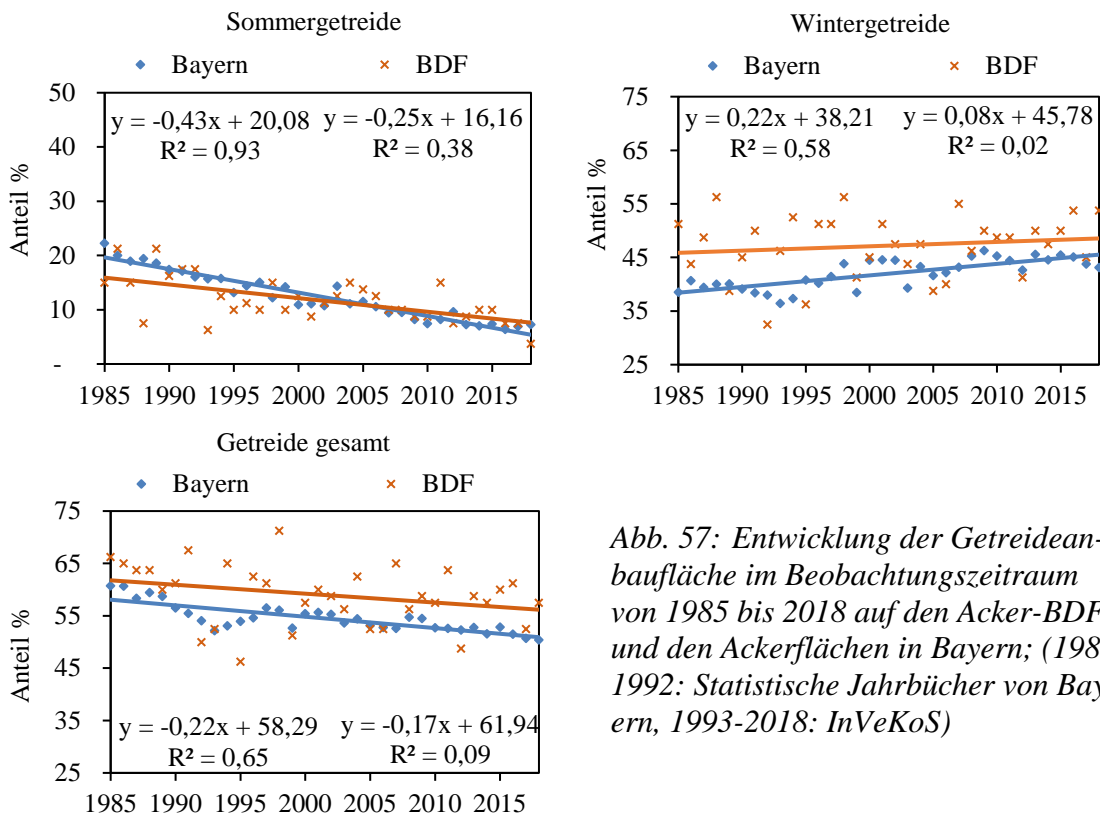


Abb. 57: Entwicklung der Getreideanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Der Anteil von Acker-BDF mit Getreide lag im Mittel bei 59 % (Maximum 71 %, Minimum 46 %). Wintergetreide und insbesondere Winterweizen machten hierbei den Hauptteil aus. Auf 21 BDF wurde von 1985 bis 2018 nie Sommergetreide angebaut, Wintergetreide wurde auf jeder BDF angebaut. 85 % der BDF hatten mehr als ein Drittel Wintergetreide in der Fruchtfolge (Abb. 58).

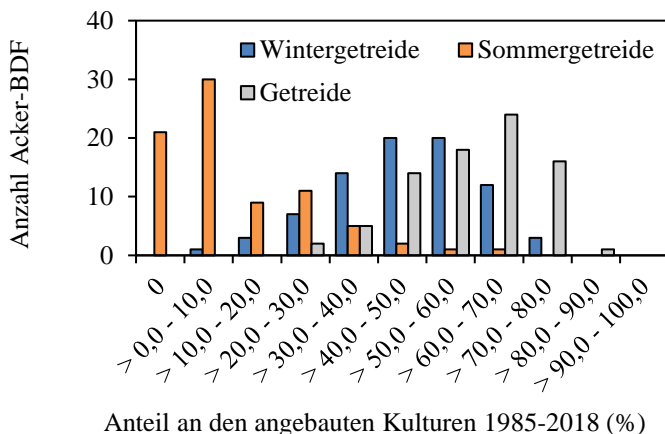


Abb. 58: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Wintergetreide (WG), Sommergetreide (SG) und Getreide gesamt in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Betrachtet man den Getreideanbau jeder einzelnen BDF, so konnten deutliche Änderungen des Getreideanteils in der Fruchtfolge auf fünf BDF festgestellt werden. Der Anteil an Sommer- und Wintergetreide nahm auf je 2 BDF erkennbar ab. Eine deutliche Zunahme des Wintergetreideanteils war im Beobachtungszeitraum auf einer BDF feststellbar (vergl. Tab. 29).

6.2.2.3 Zuckerrüben, Kartoffeln, Sonstige Hackfrüchte

Der Anteil von Kartoffeln in der Fruchtfolge nahm im Beobachtungszeitraum bayernweit um 1,6 Prozentpunkte ab, während der Zuckerrübenanteil ebenfalls leicht um 1,1 Prozentpunkte zurückging. Der Rückgang von Zuckerrüben und Kartoffeln viel mit -2,3 und -1,4 bei den Acker-BDF tendenziell etwas höher aus als im bayernweiten Vergleich (vergl. Abb. 59).

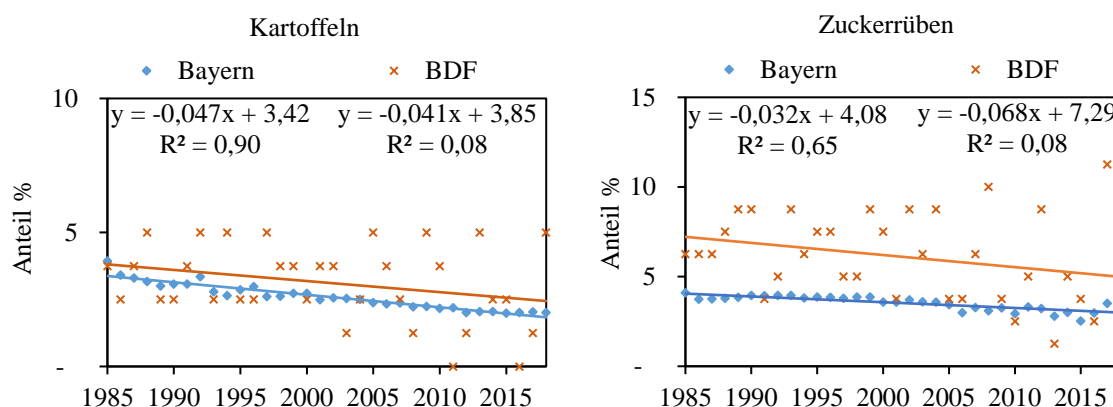


Abb. 59: Entwicklung der Kartoffel- und Zuckerrübenanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den BDF-Ackerstandorten und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Als weitere Hackfrüchte neben Mais wurden Zuckerrüben auf 28 Acker-BDF und Kartoffeln auf 20 der insgesamt 80 Acker-BDF angebaut. Bei 15 Flächen machten die Zuckerrüben mehr als 20 % der Hauptkulturen aus. Bei sieben Acker-BDF betrug der Anteil der Kartoffeln an den angebauten Hauptkulturen mehr als 20 % (Anbau alle 5 Jahre und häufiger, vergl. Abb. 60).

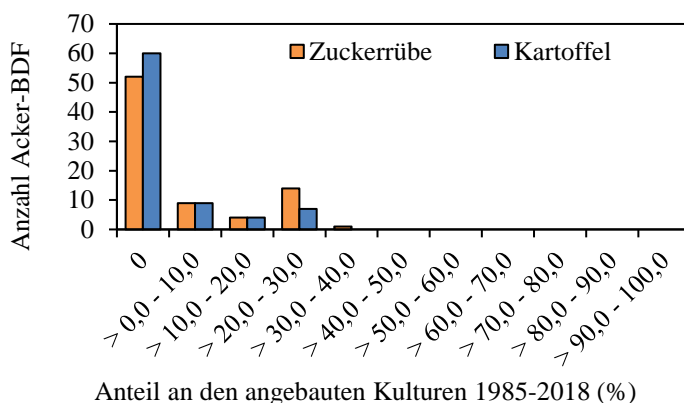


Abb. 60: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Kartoffeln (KA) und Zuckerrüben (ZR) in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Für den Beobachtungszeitraum war keine deutliche Änderung der Anbauhäufigkeit dieser Kulturen für die einzelnen Acker-BDF feststellbar, auch wenn ihr Anteil insgesamt leicht zurückging (vergl. Tab. 29).

Sonstige Hackfrüchte umfassen im BDF-Programm Gemüsekulturen, Tabak und Soja, für die aufgrund des geringen Anbaumumfangs kein Trend und kein Vergleich mit der bayernweiten Entwicklung ausgewertet wurde.

6.2.2.4 Raps, sonstige Ölfrüchte

Beim Raps zeichnete sich bayernweit mit einer Zunahme von 1,3 Prozentpunkten ein entgegengesetzter Trend zu den BDF mit einer geringen Abnahme von -0,8 Prozentpunkten beim Rapsanteil ab (Abb. 61).

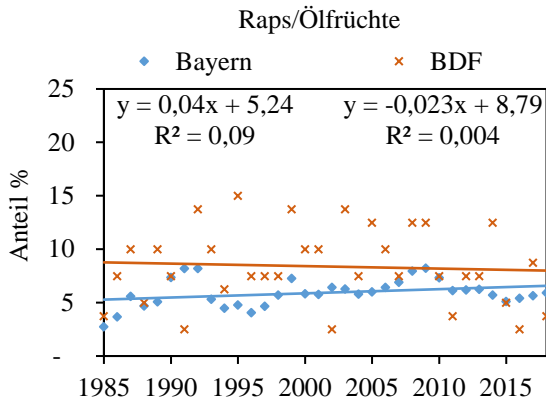


Abb. 61: Entwicklung der Rapsanbaufläche (incl. sonstiger Ölfrüchte) im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Raps wurde auf beinahe drei Viertel der Acker BDF mindestens einmal angebaut. Ein Anteil von Raps von mehr als 20 % in der Fruchtfolge (jedes 5. Jahr und häufiger) war allerdings nur auf neun Acker- BDF zu beobachten (Abb. 62). Zu den sonstigen Ölfrüchten, die zusammen mit dem Raps ausgewertet wurden, zählt der Öllein, der im Beobachtungszeitraum zweimal auf einer BDF angebaut wurde.

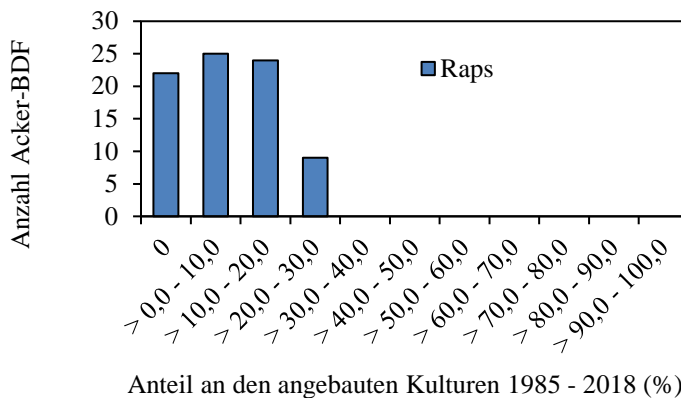


Abb. 62: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Raps in der Fruchtfolge; Anteile (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Eine deutliche Änderung des Anbaus auf den einzelnen Acker-BDF über die Jahre von 1985 bis 2018 war für Raps nur auf einer BDF feststellbar, bei der der Rapsanteil deutlich zurückging (vergl. Tab. 29).

6.2.2.5 Körnerleguminosen

Der Anteil der Körnerleguminosen an der Ackerfläche blieb sowohl bayernweit als auch bei den Acker-BDF auf annähernd gleichem Niveau (Abb. 63).

Mit 0,8 % in Bayern und 1,5 % im BDF-Programm machen Körnerleguminosen insgesamt einen eher geringen Anteil an den Fruchtfolgen aus. Bei den BDF waren Erbsen die häufigste Körnerleguminosenart, gefolgt von Ackerbohnen und diversen Mischfruchtformen. Auf 26 Acker-BDF wurden mindestens einmal Körnerleguminosen angebaut, aber lediglich auf fünf in insgesamt drei Jahren des Beobachtungszeitraums (Abb. 64).

Eine deutliche Änderung der Anbauhäufigkeit auf den einzelnen Acker-BDF über die Jahre war für die Körnerleguminosen nicht zu beobachten (vergl. Tab. 29).

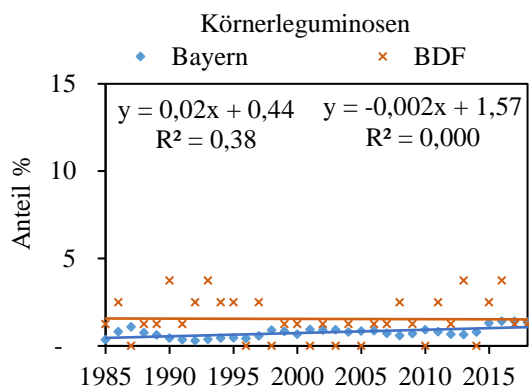


Abb. 63: Entwicklung der Körnerleguminosenanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den BDF-Ackerstandorten und den Ackerflächen in Bayern (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

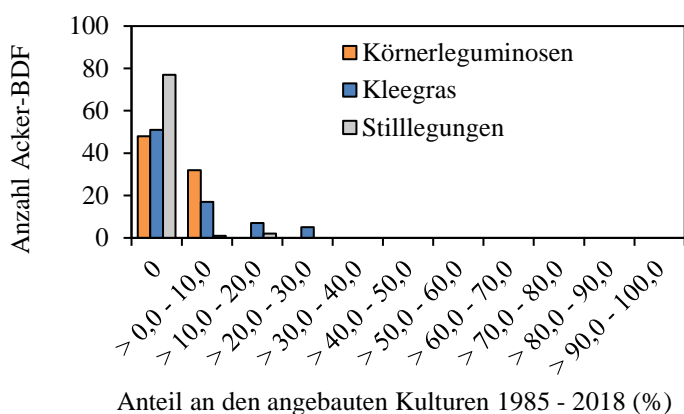


Abb. 64: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen von Körnerleguminosen (LEG), Klee gras (KG) und stillgelegten Flächen (STILL) in der Fruchtfolge; Anteil (%) im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

6.2.2.6 Klee grasgemenge

Zum Klee grasgemenge gehören rasenbildendes, oft mehrjähriges Ackerfutter wie Acker gras oder Klee gras und diverse Mischungen. Bayernweit blieb der „Klee grasanteil“ genauso wie bei den Acker-BDF langfristig auf dem gleichen Niveau, wobei der Anteil im BDF-Programm mit durchschnittlich 4 % zwei Prozentpunkte unter dem bayerischen Klee grasanteil lag (Abb. 65).

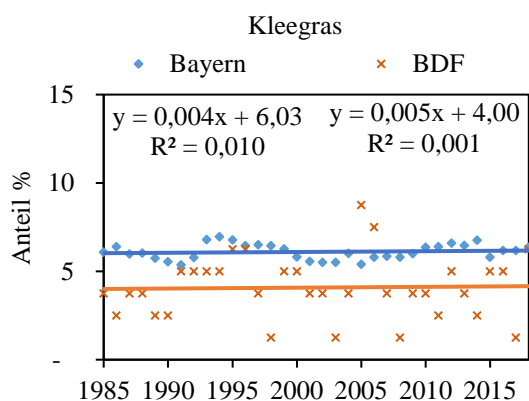


Abb. 65: Entwicklung der Klee grasanbaufläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Auf 29 Acker-BDF wurde Klee gras mindestens einmal angebaut, darunter an einem Standort in jedem 6. Jahr und an fünf Standorten in rechnerisch jedem vierten Jahr. An diesen Standorten wurde das Klee gras in der Regel drei oder vier Jahre in Folge in die Fruchtfolge integriert (Abb. 64). Eine deutliche Änderung des Anbaus auf den einzelnen Acker-BDF über die Jahre konnte für Klee gras statistisch nicht festgestellt werden (vergl. Tab. 29).

6.2.2.7 Stilllegung

Ackerstilllegungen traten dann vermehrt in Bayern auf, wenn sie durch politische Instrumente gezielt gesteuert wurden (vergl. Abb. 66). Obligatorische Flächenstilllegungen zur Regulierung von Überproduktion von Agrarprodukten gab es im Rahmen der EU-Ausgleichszahlungen Anfang der 90er Jahre. 1994 lag der verpflichtende Stilllegungssatz bei 15 % der Ackerfläche, wurde in den Folgejahren wieder abgesenkt und im Jahr 2005 regional unterschiedlich angepasst. Im Jahr 2008 wurden die Flächenstilllegungen EU-weit wegen steigender Getreidepreise zunächst ausgesetzt und ein Jahr später ganz abgeschafft (Holst & Cramon-Traubadel, 2014).

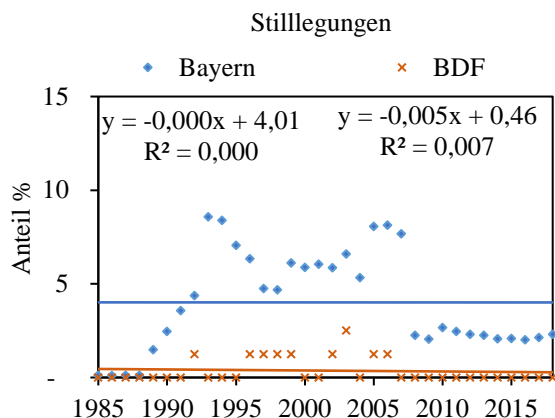


Abb. 66: Entwicklung der Stilllegungsfläche im Beobachtungszeitraum von 1985-2018 auf den Acker-BDF und den Ackerflächen in Bayern; (1985-1992: Statistische Jahrbücher von Bayern, 1993-2018: InVeKoS)

Die bayernweit starken Schwankungen betrafen die Acker-BDF nur in geringem Umfang. Auf insgesamt drei Standorten kamen vorübergehende Flächenstilllegungen mit maximal 4 Jahren Stilllegungszeit vor (Abb. 64).

Eine deutliche Änderung des Anbaus auf den einzelnen Acker-BDF über die Jahre war für die Stilllegungen nicht zu beobachten (vergl. Tab. 29).

6.2.3 Beschreibung und Entwicklung der Bewirtschaftung bei Ackernutzung

6.2.3.1 Zwischenfruchtanbau

Zwischenfrüchte wurden auf den Acker-BDF entweder als überdauernde Winterzwischenfrüchte (Einarbeitung im Frühjahr) oder als vor dem Winter eingearbeitete Kulturen angebaut (Herbstzwischenfrucht). Letzteres wurde sowohl vor Sommerungen (Hauptkultur mit Aussaat im Frühjahr) als auch vor Winterungen (Hauptkultur mit Aussaat im Herbst) beobachtet. In 33 Fällen wurde auch Ausfallgetreide bzw. Ausfallraps als Zwischenfrucht angegeben. Auf drei Acker-BDF fand über den gesamten Zeitraum von 1985 bis 2018 überhaupt kein Zwischenfruchtanbau statt. Zwei dieser BDF lagen auf über 600 m Höhe, eine auf schwerem Lehmboden bei unter 650 mm Jahresniederschlag, so dass hier die Aussaat von Zwischenfrüchten ohnehin wenig erfolgsversprechend ist.

Überwinternde Zwischenfrüchte wurden auf 61 Acker-BDF angebaut, Herbstzwischenfrüchte auf 65.

Auf etwa 60 % der Acker-BDF wurde in mindestens fünf Jahren eine Zwischenfrucht angebaut, was im Beobachtungszeitraum einem Anbau in mindestens jedem 7. Jahr entspricht. Mindestens fünf Anbaujahre von Winterzwischenfrüchten kam im Beobachtungszeitraum auf 16 Acker-BDF vor, bei den Herbstzwischenfrüchten waren es 23 Flächen (Abb. 67).

Am häufigsten und stetigsten war der Winterzwischenfruchtanbau erwartungsgemäß vor Mais, 65 % der Winterzwischenfrüchte standen vor dieser Kultur. Immerhin beinahe 30 %

des Maises wurde nach einer Winterzwischenfrucht gesät, nimmt man die vor dem Winter eingearbeiteten Zwischenfrüchte dazu, sind es sogar die Hälfte. Etwa 6 % des Sommergetreides wurden nach einer Winterzwischenfrucht gesät (mit Einarbeitung vor dem Winter 16 %). Bei den Reihenkulturen waren es mit 17 % bei Kartoffeln und 19 % bei Zuckerrüben deutlich mehr (mit Einarbeitung vor dem Winter: Kartoffeln 57 % und Zuckerrüben 43 %).

Unter Berücksichtigung der angebauten Winterungen waren 73 der 80 Ackerstandorte über mindestens jeden zweiten Winter mit einer Haupt- oder Zwischenfrucht bestellt. Bei den restlichen 7 Acker-BDF war dies in jedem dritten Winter der Fall.

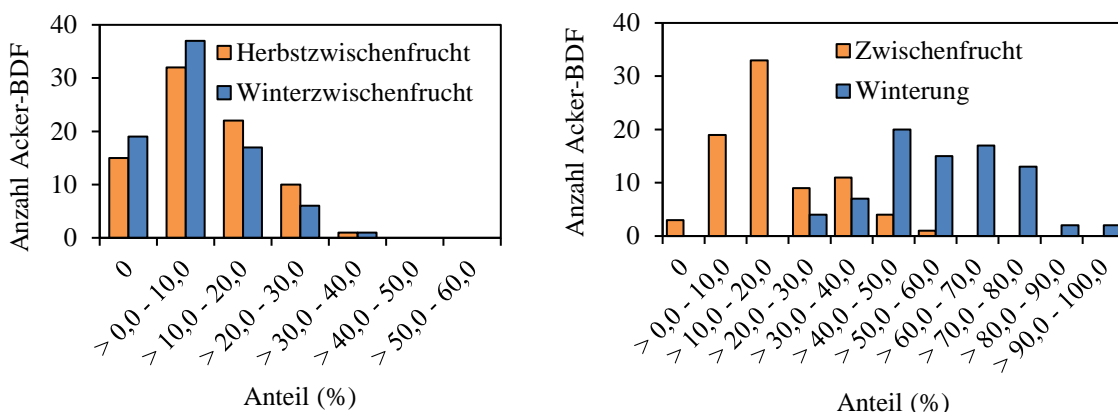


Abb. 67: Anzahl der Acker-BDF nach Anteilen der Jahre mit Herbst- und Winterzwischenfrüchten (links) und Zwischenfrüchten und Winterungen im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Die verbreitetste Zwischenfrucht war Senf. Kreuzblütler (vorwiegend Senf, Raps, Rüben, Ölrettich) machten etwa 56 % der auf BDF angebauten Zwischenfrüchte aus. 17 % entfielen auf Saatmischungen, Buchweizen und Phacelia, 9 % auf Leguminosen wie verschiedene Kleearten, Wicken und Erbsen und weitere 9 % auf die Ansaat von Gräsern (inkl. Klee gras). 7 % der gemeldeten Zwischenfrüchte etablierten sich aus Ausfall (Raps, Getreide, Erbsen), diese allerdings nur als Herbstzwischenfrucht. Eine deutliche Zunahme im Laufe der Jahre war bei den Saatmischungen zu verzeichnen, die in den Jahren 2016, 2017 und 2018 bereits auf 9, 13 und 9 BDF verwendet wurden.

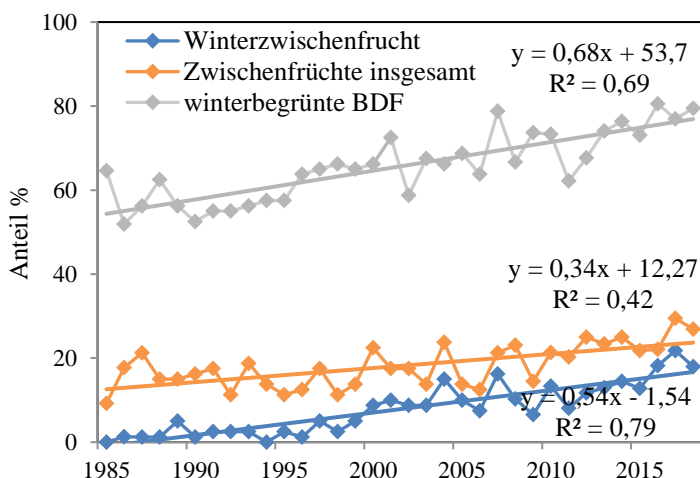


Abb. 68: Jährlicher Anteil (in %) der BDF mit Zwischenfruchtanbau, der BDF mit Winterzwischenfrucht und Anteil der über Winter begrüneten BDF (Winterzwischenfrucht + Winterung)- Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.

Sowohl der Anteil an Zwischenfrüchten insgesamt als auch der Anteil an Winterzwischenfrüchten auf den Acker-BDF nahm von 1985 bis 2018 deutlich zu (Abb. 68). Noch deutlicher war die Zunahme des Anteils an Acker-BDF, die über den Winter entweder mit einer

Zwischenfrucht oder einer Hauptkultur begrünt waren. Der Anteil im Winter unbestellter Ackerflächen nahm entsprechend auf den BDF signifikant ab. Lag das Verhältnis von mit Winterzwischenfrucht bestellten BDF an Jahren mit Sommerungen zu Beginn des Bodendauerbeobachtungsprogramms noch bei deutlich unter 10 %, stieg der Anteil auf über 40 % in den letzten zwei bzw. etwa 28 % in den letzten 15 Jahren.

6.2.3.2 Wendende Bodenbearbeitung

Für den Anteil an pflugloser Bodenbearbeitung im Beobachtungszeitraum wurde die Anzahl der Jahre ohne jegliche Bodenbearbeitung auf Grund des Anbaus mehrjähriger Kulturen zu den Jahren mit pfluglosen Bearbeitungsmethoden addiert. Der berechnete Indikator entspricht somit den Jahren ohne wendende Bodenbearbeitung, welche für viele Bodenparameter von großer Bedeutung ist.

Auf 18 Acker-BDF wurde in über 90 % der Jahre gepflügt, fünf davon sogar jährlich, auf weiteren 45 Ackerstandorten wurde in mindestens jedem 2. Jahr gepflügt. Fast vollkommen pfluglos (bis auf ein Jahr) wurde eine Acker-BDF bewirtschaftet. Weitere drei BDF wurden in mehr als 80 % der Jahre nicht wendend (pfluglos) bearbeitet. Jahre ohne jegliche Bodenbearbeitung kamen auf 21 Acker-BDF in insgesamt 71 Fällen vor (Abb. 69). Die vorwiegende Kultur war hierbei Klee gras (64 %). Bei 5 % der Daten fehlten Angaben zur Bodenbearbeitung.

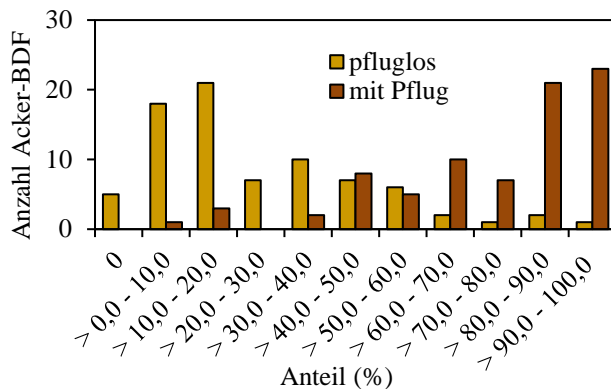


Abb. 69: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit und ohne Pflugeinsatz je BDF im Zeitraum von 1985-2018

Zusätzlich zum Anteil an pflugloser oder keiner Bodenbearbeitung, wurde die Zeitspanne betrachtet, die zurückliegend pfluglos war. Ab 2018 lag diese zwischen null und 25 Jahren. Auf 49 BDF wurde im Jahr 2018 gepflügt, auf 13 im Vorjahr, auf sechs im Vorvorjahr. 15 % der Acker-BDF waren also vor 2018 länger als drei Jahre ohne Pflugeinsatz. Der längste Zeitraum, in dem auf einer Acker BDF nicht gepflügt wurde, lag bei 25 Jahren. Auf sieben BDF wurde immerhin seit mehr als 10 Jahren nicht gepflügt.

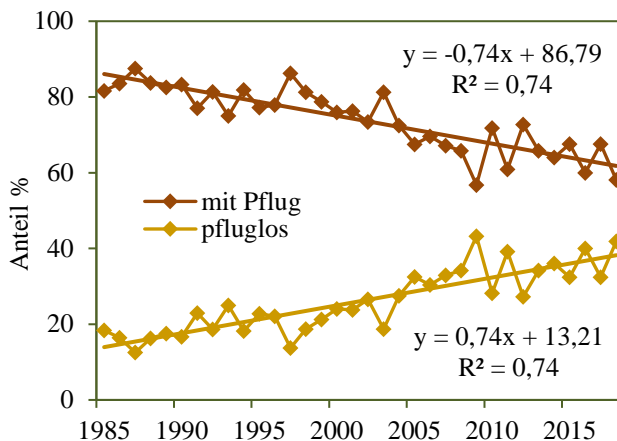


Abb. 70: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit wendender Bodenbearbeitung (gepflügte BDF, braun) und pfluglos bewirtschafteter BDF (orange) – Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.

Der Anteil der gepflügten BDF ging über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 kontinuierlich zurück, während der jährliche Anteil pfluglos bewirtschafteter Acker-BDF deutlich von unter 20 % auf etwa 40 % zunahm (vergl. Abb. 70, Abb. 71). Mehrjährige Kulturen machten hierbei nur einen geringen Anteil von im Mittel 2 % aus und zeigten keine deutliche Änderung im Lauf der Zeit. Auf 16 Acker-BDF nahm im Beobachtungszeitraum die Pflughäufigkeit deutlich ab (vergl. Tab. 30).

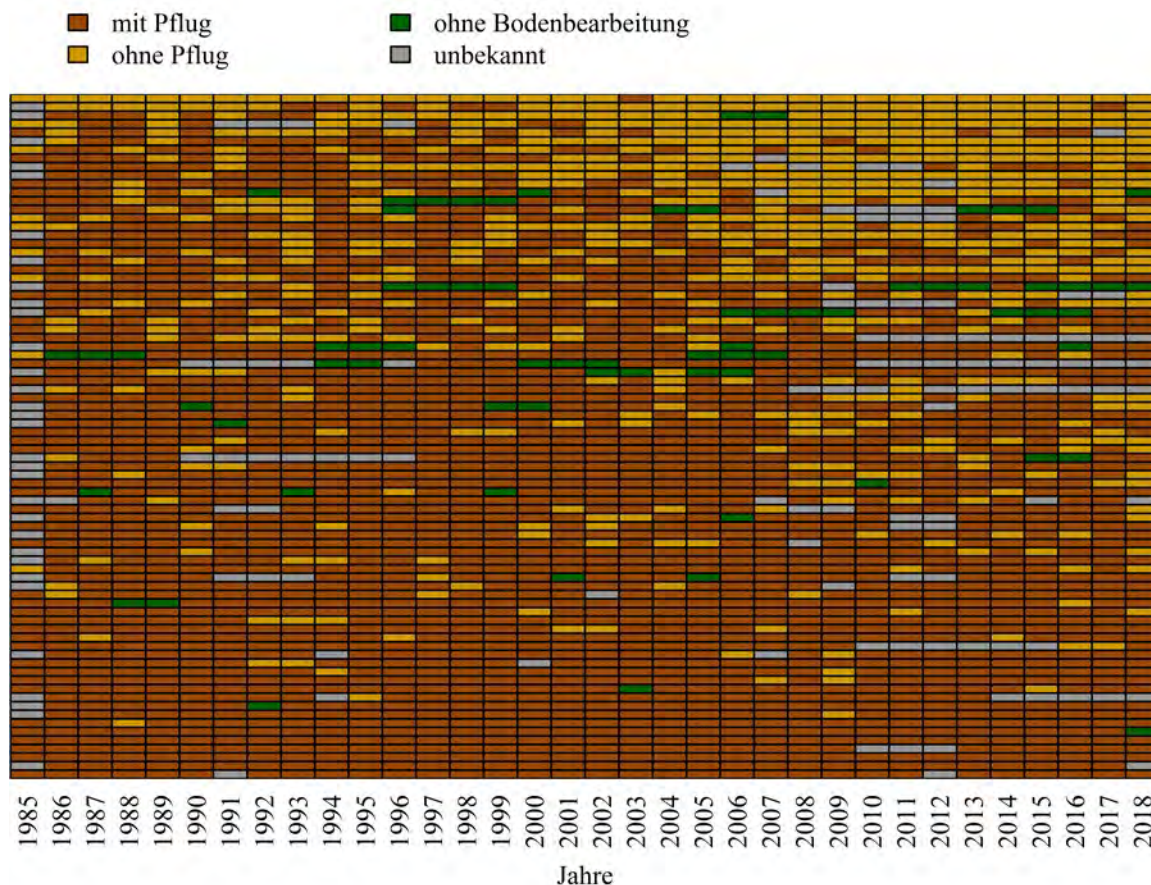


Abb. 71: Entwicklung der Bodenbearbeitung (mit und ohne Pflug) für jede einzelne der 80 Acker BDF, sortiert nach dem Anteil pflugloser Bodenbearbeitung über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018

6.2.3.3 Einarbeitung Ernterückstände / Stroh

Bei der Ernte fallen neben dem eigentlichen Erntegut (Korn, Rübe usw.) vegetative Pflanzenteile (Blatt, Stroh) an, die als Ernterückstände bezeichnet werden und entweder in zerkleinerter Form auf der Ackerfläche verbleiben oder anderweitig genutzt und abtransportiert werden. Seitdem die Biogaserzeugung in Bayern zugenommen hat, werden Kulturpflanzen zunehmend im Ganzen als Biogassubstrat (GPS=Ganzpflanzensilage) verwertet, bei dem keine Ernterückstände anfallen. Bei der Ernte anfallende Blattmasse wurde bei den Acker-BDF nur in Einzelfällen beim Anbau von Erbsen oder Kartoffeln abgefahren (viermal bei Erbsen, einmal bei Kartoffeln). Rübenblatt, sowie Raps- und Körnermaisstroh verblieben immer auf dem Feld. Unterschiede in der Verwertung von Ernterückständen ergaben sich vorwiegend für Getreidekulturen.

Im Mittel wurde auf den BDFs in etwa der Hälfte der Jahre Stroh (von Getreide, Körnermais, Raps) eingearbeitet. Dabei wurde bei 21 BDF weniger als in 30 % der Jahre Stroh

eingearbeitet, bei 14 BDF in mehr als 70 % der Jahre im Beobachtungszeitraum (vergl. Abb. 72). Maximal verblieb in 31 von 34 Jahren Stroh auf einem Feld. Nur auf fünf BDF wurde in weniger als vier Jahren im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018 Stroh eingearbeitet. Es zeigte sich, dass besonders in Ober- und Unterfranken der Anteil an Jahren mit Strohverbleib höher war.

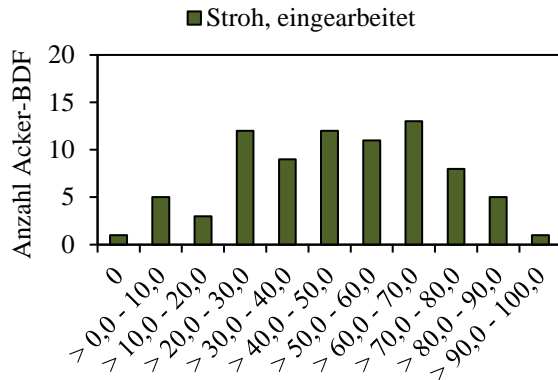


Abb. 72: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit Einarbeitung von Stroh aus Ernterückständen von Getreide, Raps und Körnermais; durchschnittliche Einarbeitungshäufigkeit im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

Während bei Raps und Körnermais das anfallende Stroh nach der Ernte in der Regel auf der Fläche verbleibt, wird Getreidestroh von Sommer- und Wintergetreide auch häufig abgefahren, um als Einstreu in der Tierhaltung verwendet zu werden. Es dient aber zunehmend auch als Rohstoff zur stofflichen und energetischen Verwendung. Der Anteil an Getreidestroh (ohne Raps und Körnermais), der eingearbeitet wurde, veränderte sich im Beobachtungszeitraum jedoch nur geringfügig (Abb. 73). Gegen Ende des Beobachtungszeitraums nähern sich die Anteile wieder einander an, sodass wie zu Beginn etwa die gleiche Menge Stroh eingearbeitet wie abgefahren wurde. Eine geringe Zunahme ist für den Anteil von als GPS genutzten Getreides festzustellen, das allerdings bei den BDF nur einen sehr geringen Anteil ausmacht.

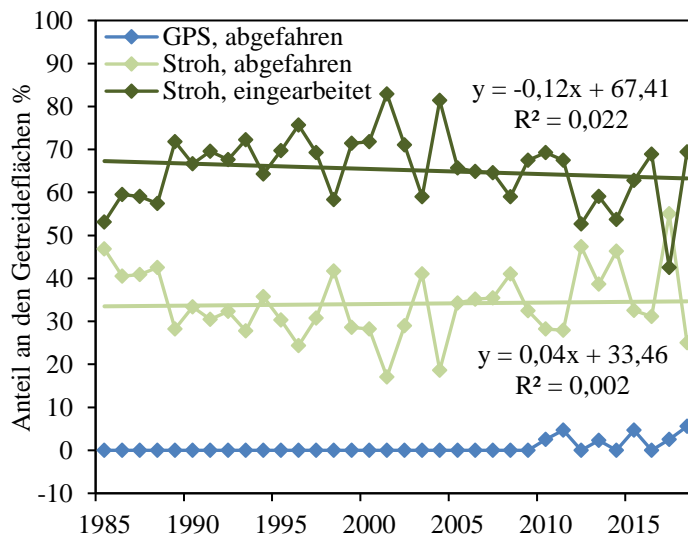


Abb. 73: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit abgefahrenem Getreidestroh (hellgrün), eingearbeitetem Getreidestroh (dunkelgrün) und GPS-Nutzung (blau), jeweils bezogen auf die BDFs mit Getreideanbau – Entwicklung für den Beobachtungszeitraum 1985-2018.

6.2.3.4 Organische Düngung

Organischer Dünger fällt üblicherweise in Betrieben mit Tierhaltung an. Daneben finden auch nicht betriebseigene organische Dünger wie Kompost, Klärschlamm oder Kartoffel-fruchtwasser Verwendung, ebenso wie Gärreste aus Biogasanlagen. Im Folgenden wurden die organischen Dünger ausgewertet, die auf den Acker-BDF ausgebracht wurden, unabhängig von sonstigen in den Betrieben anfallenden oder verwendeten Düngern.

Etwa 75 % der angegebenen organischen Dünger waren Gülle, etwa 11 % entfielen auf Biogasgärreste und etwa 15 % auf Mist (incl. Geflügelmist). Zum Teil wurden in einem Jahr auch mehrere Düngerarten ausgebracht, so dass die Gesamtsumme über 100% liegt. Organische Dünger mit geringem Anteil waren Klärschlamm, Kartoffelfruchtwasser, Jauche und Grüngutkompost.

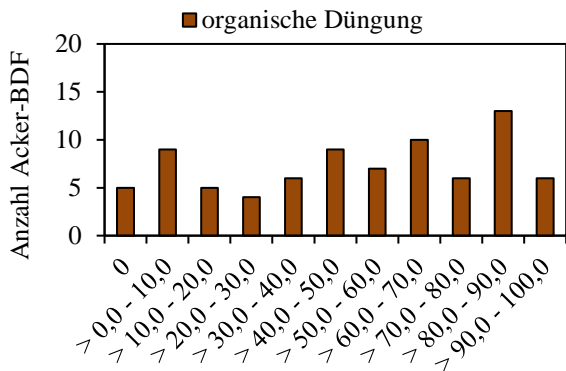


Abb. 74: Anzahl der Acker-BDF nach Anteil (%) der Jahre mit organischer Düngung; durchschnittliche Ausbringungshäufigkeit im Zeitraum von 1985-2018 je BDF

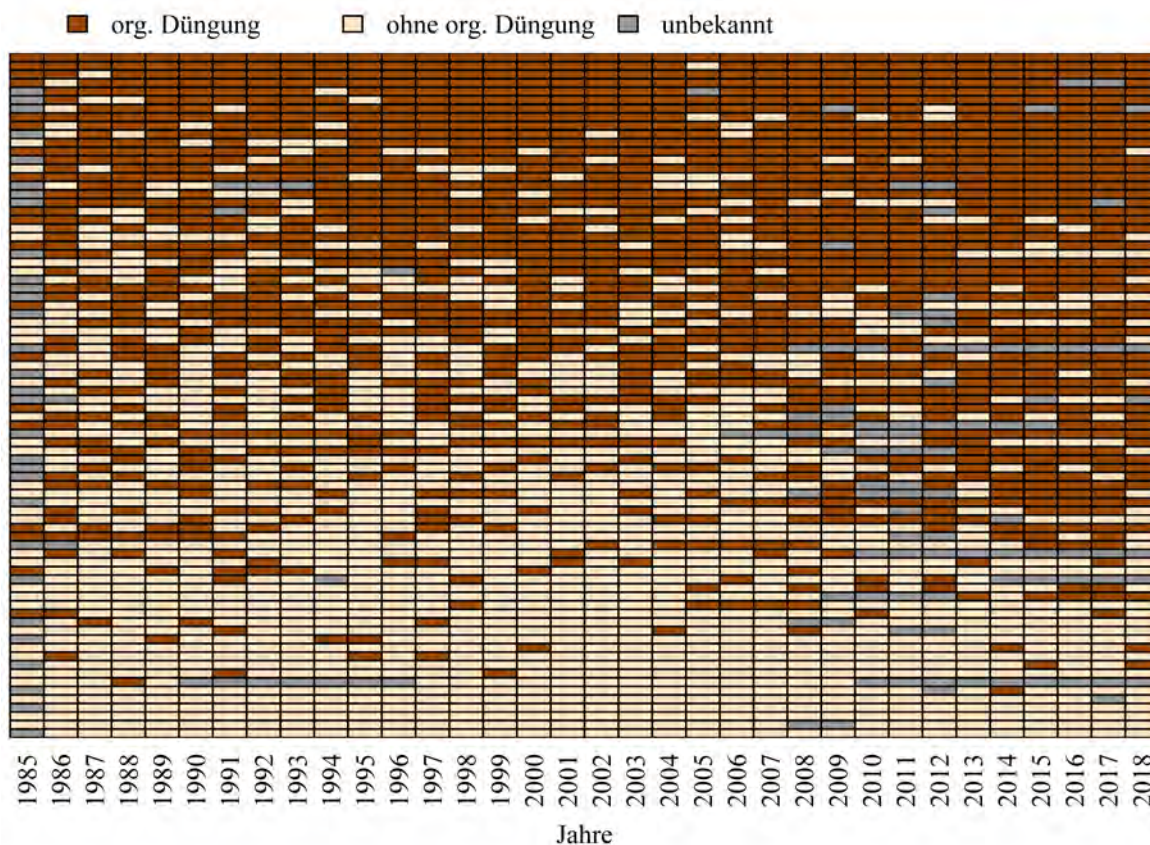


Abb. 75: Entwicklung der organischen Düngung für jede einzelne der 80 Acker- BDF über den Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018, sortiert nach Anzahl Jahre mit organischer Düngung

Von den 80 Acker-BDF wurden auf fünf im Beobachtungszeitraum keine organischen Dünger ausgebracht, eine Acker-BDF erhielt in allen 34 Jahren organische Dünger. Auf 57 BDF wurden in mindestens jedem dritten Jahr organische Dünger ausgebracht, darunter 42 BDF auf denen in mehr als jedem zweiten Jahr organische Dünger ausgebracht wurde (Abb. 74).

Der Anteil der organisch gedüngten BDF-Flächen nahm im Laufe des Beobachtungszeitraums von etwa 40 % zu Beginn auf etwa 60 % im Jahr 2018 zu (Abb. 75, Abb. 76). Insbesondere im Jahr 2008 war ein deutlicher Anstieg der organisch gedüngten Acker-BDF festzustellen. Die Zunahme der organischen Düngung ist im Wesentlichen auf die Zunahme der Ausbringung von Gärresten zurückzuführen. Seit 2006 wurden auf 19 Acker-BDF von zu diesem Zeitpunkt viehlosen Betrieben Biogasgärreste ausgebracht.

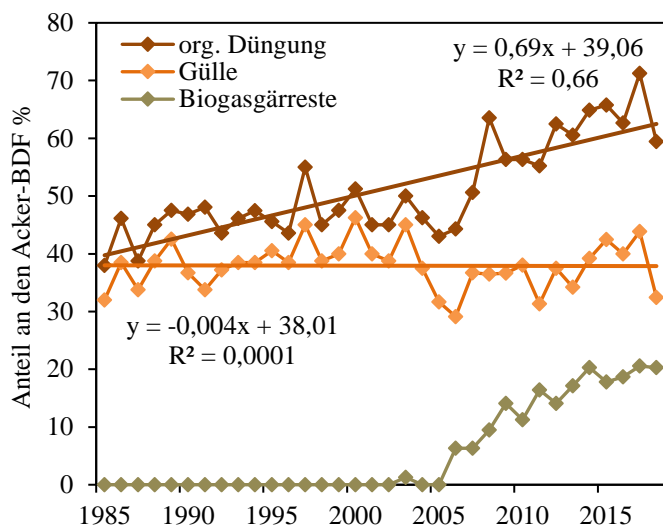


Abb. 76: Jährlicher Anteil (%) der BDF mit organischer Düngung gesamt (braun), Ausbringung von Gülle (orange) und Ausbringung von Biogasgärresten (olivgrün), Entwicklung über den Beobachtungszeitraum 1985-2018.

Auf 13 Acker-BDF wurde im Beobachtungszeitraum eine deutliche Zunahme der Ausbringung von organischen Düngern festgestellt (betrifft nicht die Mengen, da hierzu keine Angaben vorliegen, sondern die Wahrscheinlichkeit für das Jahr). Auf zwei Acker-BDF ging die Anwendung von organischen Düngern deutlich zurück (vergl. Tab. 30).

Tab. 30: Anzahl der BDF mit statistisch belegbarer Zu- und Abnahme der Bewirtschaftungsparameter im Beobachtungszeitraum 1985-2018 (als Indikator wurde die Signifikanz der logistischen Regression mit der Zeit herangezogen, Signifikanzniveau=0,05)

Abkürzung	Beschreibung	Zunahme	Abnahme	ohne deutliche Änderung
WZF	Winterzwischenfrucht	6	-	74
ZF	Alle Zwischenfrüchte	5	1	74
pfluglos	Pfluglose (= nicht wendende) Bodenbearbeitung	16	-	64
Stroh	Einarbeitung von Stroh (Getreide, Raps und Körnermais)	6	7	67
Org. Düngung	Ausbringung von organischem Dünger	13	2	65

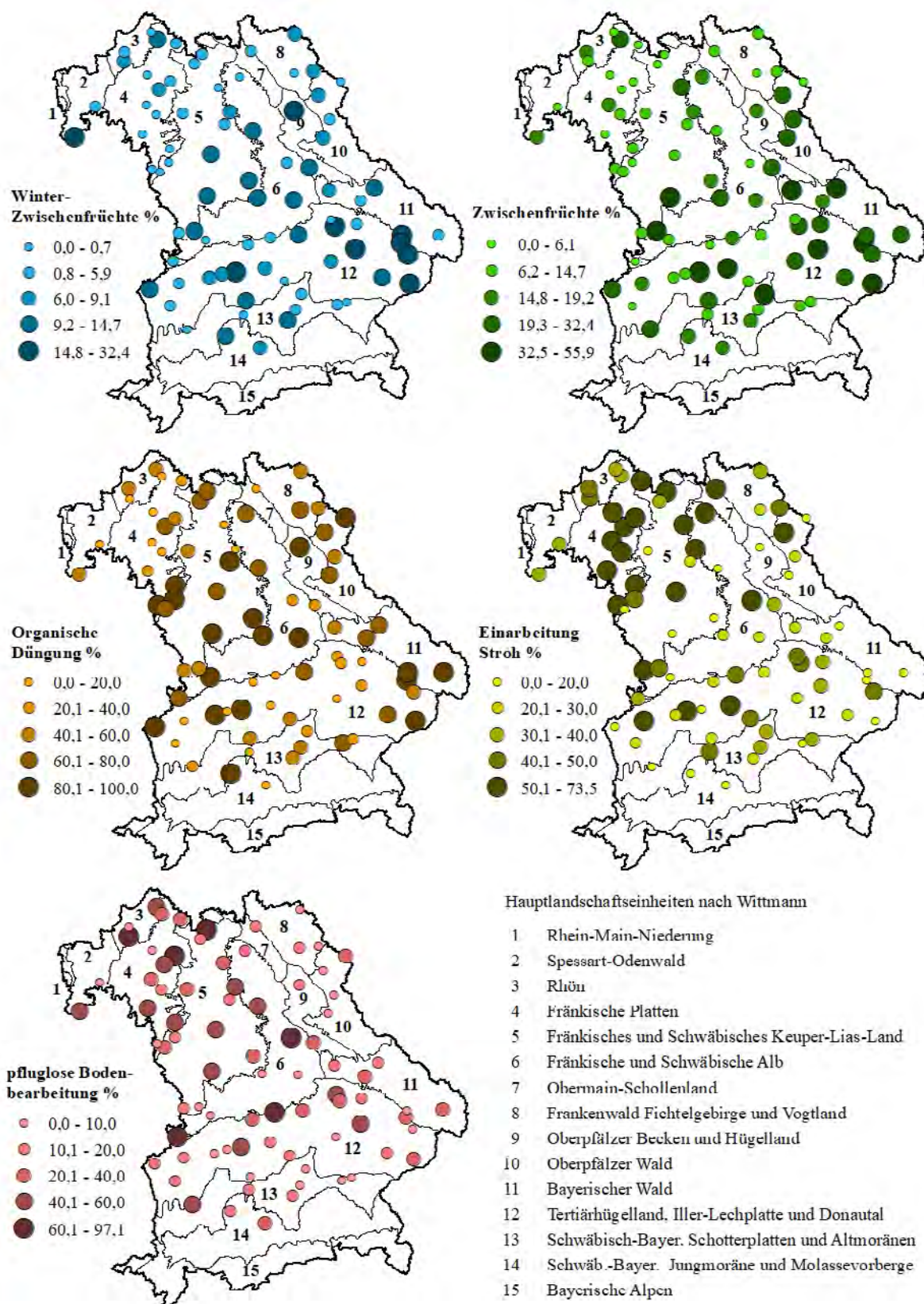


Abb. 77: Anteile (%) der Bewirtschaftungsjahre für die Bewirtschaftungsparameter je Acker-BDF im Beobachtungszeitraum von 1985 bis 2018

6.2.4 Korrelation der Bewirtschaftungsparameter der Acker-BDF und Clustering

Die Korrelationsmatrix (Abb. 78) zeigt einen deutlich positiven Zusammenhang zwischen dem Anteil an Jahren mit organischer Düngung (orgDünger), viehhaltenden Betrieben (insbesondere Rinderhaltung) und dem Silomaisanteil in der Fruchtfolge. Diese Variablen sind negativ mit dem Anteil an Jahren mit verbliebenem Stroh und Ernteresten insgesamt (Anteil Stroh überwiegt) und der viehlosen Betriebsform korreliert. Ein hoher Getreideanteil geht mit einem geringeren Maisanteil einher. Bei den übrigen Hackfrüchten ist der Anteil an Zuckerrüben deutlich negativ mit dem Maisanteil verbunden, während dies für Kartoffeln nicht zutrifft. Raps tritt eher weniger häufig in Fruchtfolgen mit hohen Hackfruchtanteilen auf (betrifft eher Zuckerrüben und Kartoffeln und weniger den Mais). Der Körnerleguminosenanteil in der Fruchtfolge zeigt keine signifikanten Korrelationen mit anderen Variablen. Der Anteil von Klee- und Ackergras in der Fruchtfolge ist negativ mit dem Anteil an Jahren mit Verbleib von Stroh und Ernteresten korreliert und kommt in geringerem Maße bei Fruchtfolgen mit höherem Zuckerrüben- und Kartoffelanbau vor. Klee- und Ackergras wird verstärkt in rinderhaltenden und nach den Richtlinien des ökologischen Landbaus bewirtschafteten Betrieben angebaut. Sommergetreide und Wintergetreide ersetzen sich in der Fruchtfolge im Wesentlichen, was durch eine negative Korrelation der beiden angezeigt wird. Auch der Anteil an Zuckerrüben und Körnermais (klimatisch bedingt) ist negativ mit dem Anteil an Sommergetreide korreliert, während Fruchtfolgen mit höherem Rapsanteil eher verstärkt auch Sommergetreide beinhalten und dem Boden viel Stroh zuführen. Die drei ermittelten Variablen zur Beschreibung der Bodenbearbeitung korrelieren alle untereinander. Für die Änderung der Bodenbearbeitung während der 35 Jahre des BDF-Programms, zeigte sich, dass BDF mit zunehmend geringerem Pflugeinsatz auch eher verstärkt Zwischenfrüchte anbauen und die organische Düngung intensiviert haben. Der Anbau von Winterzwischenfrüchten ist mit dem Maisanteil in der Fruchtfolge korreliert (siehe oben), dementsprechend negativ mit dem Getreideanteil und dem auf dem Acker verbliebenen Stroh in der Fruchtfolge. Die Haltung von Schweinen zeigte keinen nachweisbaren Zusammenhang mit anderen Bewirtschaftungsparametern.

Die Fruchtfolgeanteile von Zuckerrüben, Kartoffeln, Raps, Körnermais, Mais insgesamt, Hackfrüchte insgesamt, dem Anbau von Zwischenfrüchten und Stroh auf den Ackerflächen können zudem nicht als räumlich unabhängig betrachtet werden (Test auf räumliche Autokorrelation mit Moran's I). Besonders für diese Variablen ist somit auch mit einer hohen Korrelation mit Standortparametern zu rechnen.

Die Acker-BDF wurden anhand des Clusterings der skalierten Werte (nicht der Korrelationen, wie oben) vorwiegend anhand der Tierhaltung, der Fruchtartenanteile und der Bodenbearbeitung sechs Clustern zugeordnet (Abb. 79). Der erste Cluster (von links nach rechts in der Abbildung) umfasste Acker-BDF von Betrieben mit Rinderhaltung, und dementsprechend hohem Anteil an Silomais und organischem Dünger, bei eher niedrigem Anteil an Getreide in der Fruchtfolge. Der zweite Cluster umfasste sieben BDF, auf denen ebenfalls Tiere und hierbei vor allem Schweine gehalten wurden und zudem Zuckerrüben angebaut wurden, hierunter auch viele pfluglos arbeitende Betriebe. Auch die dritte Gruppe beinhaltete viele Betriebe, die im Laufe des Beobachtungszeitraums verstärkt pfluglos arbeiteten, hinsichtlich der übrigen Parameter aber schwer zu differenzieren waren.

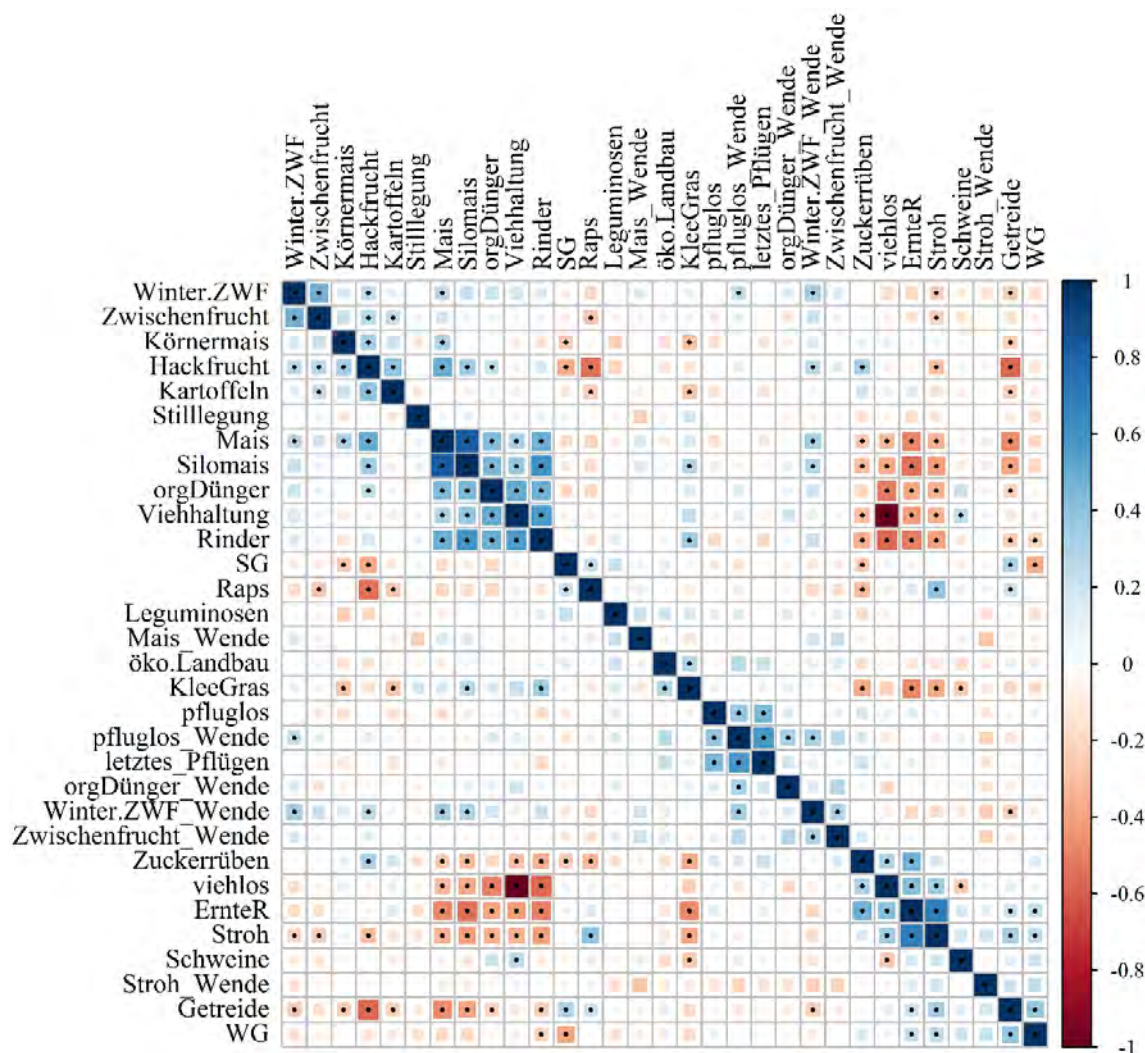


Abb. 78: Korrelationsmatrix der Bewirtschaftungsvariablen auf Acker- BDF (nach Kendalls Tau, für skalierte Werte, geclustert nach Ward)

Beim vierten abgegrenzten Cluster handelte es sich um vorwiegend viehlose Betriebe, die zudem einen gewissen Anteil an Hackfrüchten ohne Mais (vorwiegend Zuckerrüben) in der Fruchtfolge hatten. Der fünfte Cluster beinhaltete BDF, auf denen auch Sommergetreide in größerem Umfang angebaut wurde. Der sechste Cluster bestand aus BDF mit Rapsanteil in der Fruchtfolge, geringem Anteil an Hackfrüchten und ansonsten gemischter Bewirtschaftung. Die Darstellung zeigt auch, dass die Bewirtschaftung auf den BDF in den 35 Jahren des BDF-Programms sehr vielgestaltig war. Über diesen Zeitraum ist es schwierig, typische Fruchtfolgen oder andere Betriebsklassen zu identifizieren. Eine weitere Reduzierung der Anzahl an BDF könnte bereits dazu führen, dass einige Bewirtschaftungstypen nicht mehr in ausreichender Stichprobenzahl berücksichtigt werden können.

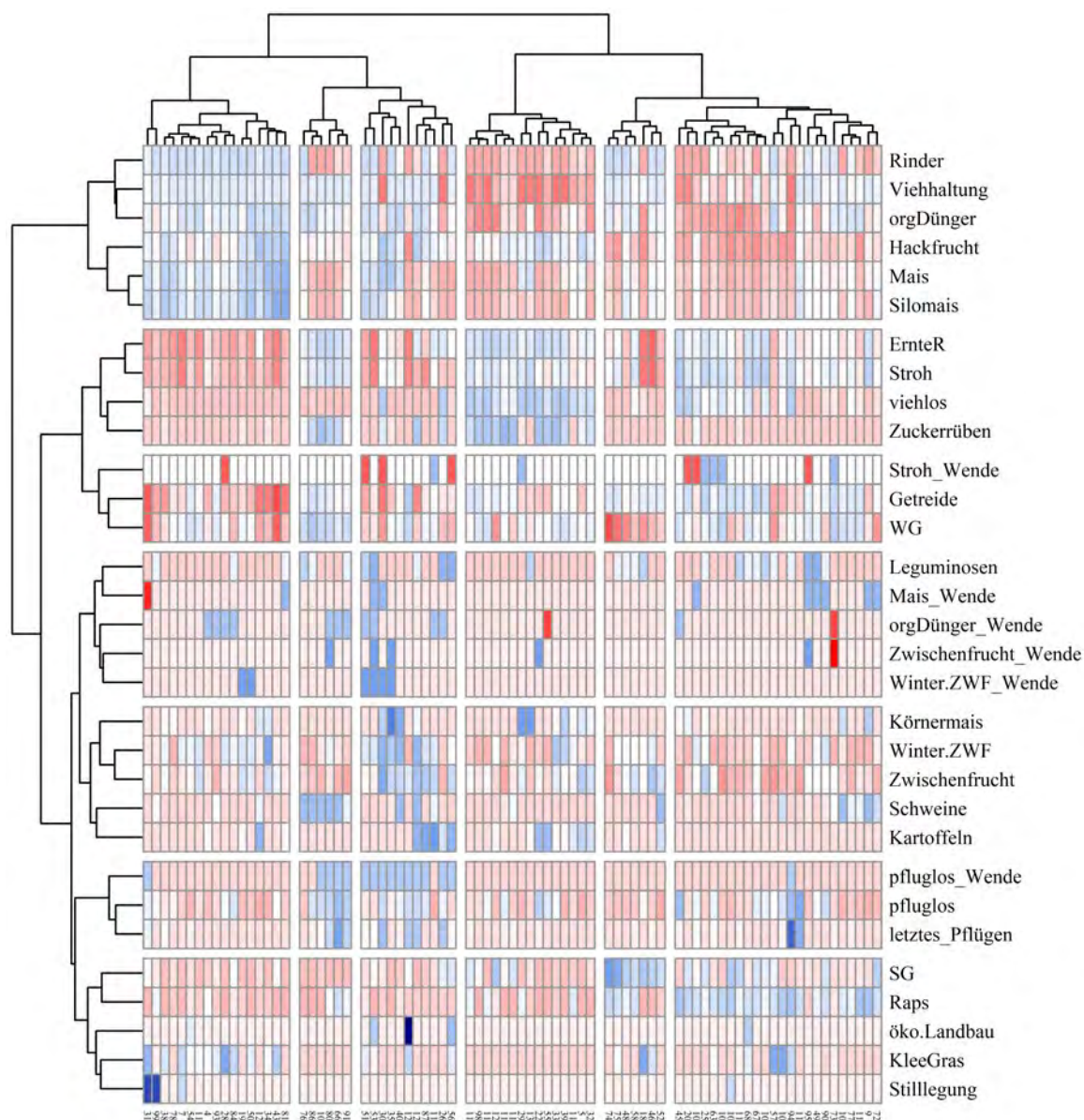


Abb. 79: Heatmap der Bewirtschaftungsvariablen (blaue Farben stehen für verhältnismäßig hohe Werte, rote Farben für verhältnismäßig niedrige, clustering nach Ward für skalierte Werte).

6.3 Beschreibung der schlagbezogenen Bewirtschaftungsparameter bei Grünlandnutzung

6.3.1 Nutzungstypen der Grünland-BDF und des Grünlands in Bayern

Ein Drittel der landwirtschaftlich genutzten Fläche in Bayern (etwa 1,1 Mio. ha) ist Grünland. In Bayern wird ein Großteil des Dauergrünlands (64 %) als Wiese (ausschließlich Mahd) genutzt, knapp ein Viertel (24 %) als Mähweiden (Mahd und Beweidung) und je 4 % als Weiden und Almen (InVeKoS-Daten für das Jahr 2018, Stand 2022, vergl. Abb. 80). Zu den restlichen 4 % gehören sonstige Grünlandnutzungen (z.B. Hutungen, Streuwiesen) und Stilllegungen. Bayernweit nahm der Anteil der Wiesennutzung am gesamten Grünland seit Anfang der 1990er Jahre um 12 Prozentpunkte ab, die Grünlandnutzung als Mähweide dagegen um 11 Prozentpunkte zu. Die Entwicklung spiegelt sich auch in den absoluten Zahlen

wider (Abb. 81), die außerdem eine kontinuierlich abnehmende Dauergrünlandfläche in Bayern aufzeigen. Im bayerischen Agrarbericht 2020 wird ein Grünlandrückgang von 23 % im Zeitraum von 1979 bis 2019 angegeben (StMELF, 2020), während die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche im gleichen Zeitraum um 12 % zurückging. Laut der Grünlandstudie Bayern (Würfl & Halama, 2008) fand der Flächenrückgang der als Futter genutzten Dauergrünlandfläche in den Jahren 1991 bis 2003 überwiegend (80 % des Grünlandverlusts) im ackerbaulich geprägten Tertiärhügelland, aber auch in den östlichen Mittelgebirgen und der den Alpen vorgelagerten Landschaften statt, während in Spessart und Rhön sogar eine Zunahme des als Futterfläche genutzten Grünlands festgestellt werden konnte.

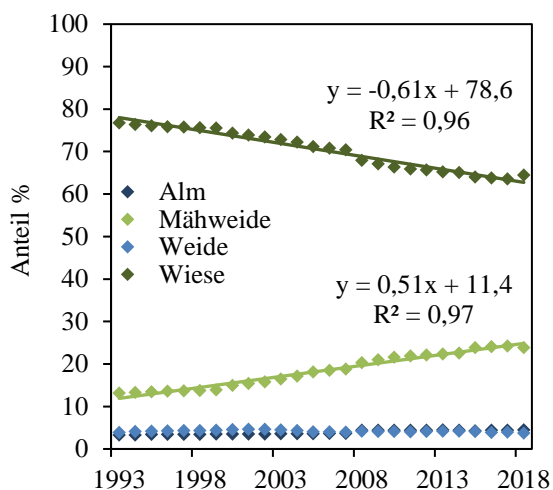


Abb. 80: Entwicklung der Anteile der häufigsten Grünland-Nutzungstypen an der gesamten Grünlandfläche in Bayern von 1993 bis 2018 (InVeKoS)

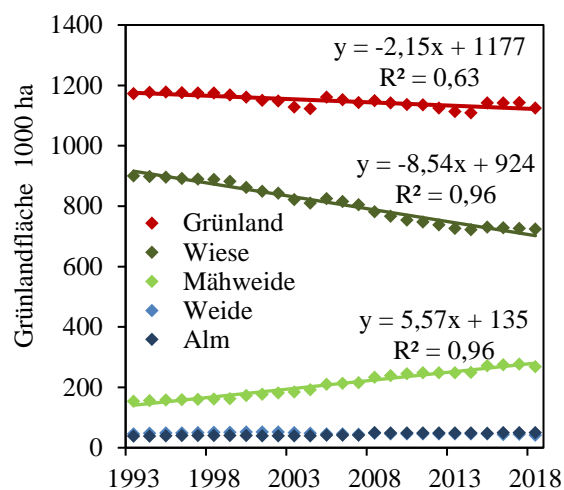


Abb. 81: Entwicklung der Fläche (in 1000 ha) der häufigsten Grünland-Nutzungstypen und der gesamten Dauergrünlandfläche in Bayern von 1993 bis 2018 (InVeKoS)

Im BDF-Programm gab es nach 2000 zwei Grünlandumbrüche auf Standorten im Bereich der Jungmoränen und Molassevorberge (HLE 14, Abb. 86). Eine Grünland-BDF im Bereich der Iller-Lech Platte wurde bereits 1983 umgebrochen und seitdem als Acker genutzt. Vier Ackerflächen wurden zwischenzeitlich mehr oder weniger lang (8 bis 24 Jahre) als Grünland genutzt und anschließend wieder umgebrochen. Seit Beginn des Beobachtungszeitraums wurde auf vier Ackerflächen Grünland eingesät. Drei der Flächen befinden sich im nördlichen Franken, eine auf einem Moorstandort im Donautal. Diese BDF mit Umstellung der Nutzung werden in den Kapiteln beschrieben, die sich mit den „BDF mit Nutzungsänderung“ befassen.

Unter den 18 durchgehend als Grünland genutzten BDF nahmen 2018 die Mähweiden mit 9 Standorten einen Anteil von 50 % ein, die Wiesen mit 6 Standorten einen Anteil von 33 % (Abb. 82). Auf einer Grünland-BDF fand 2018 eine reine Weidenutzung statt und zwei Grünland-BDF gelten als Almen, wobei eine der Almen ganzjährig beweidet wird. Die andere Almfläche wird im Abschnitt der BDF-Parzelle im Frühsommer zur Heunutzung gemäht und anschließend beweidet.

Die Grünland-BDF liegen überwiegend (12 Standorte) im Grünlandgürtel in den Hauptlandschaftseinheiten 14 und 15 (vgl. Abb. 86) und sind nur für diesen Bereich repräsentativ

(vergl. Kapitel 7). Abb. 83 zeigt die Nutzung der dort vorkommenden BDF im Vergleich zur Nutzung der gesamten Grünlandfläche in diesen Landschaftseinheiten.

Während bayernweit (Abb. 82) im Jahr 2018 die Wiesenutzung beim Grünland überwiegt, stellen die Mähweiden im Alpenraum und der vorgelagerten Jungmoränenlandschaft und den Molassevorbergen (HLE 14 und 15) die Hälfte des gesamten Grünlands. Gut ein Drittel (36 %) wird dort als Wiese genutzt, 4 % nur beweidet und knapp 10 % des Grünlands gilt als Almfläche. Die 12 BDF-Grünlandflächen in diesen Landschaftseinheiten weisen zu 58 % eine Mähweidenutzung, zu einem Viertel (3 Standorte) eine reine Wiesenutzung und zwei Almflächen (17 %) auf. Weiden fehlen dort als BDF-Standort.

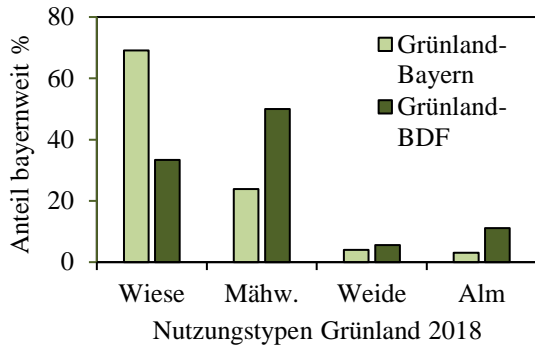


Abb. 82: Verteilung der Grünlandflächen der BDF und der Grünlandflächen in ganz Bayern auf die Nutzungstypen Wiese, Mähweide, Weide und anerkannte Almen und Alpen im Jahr 2018 (InVeKoS).

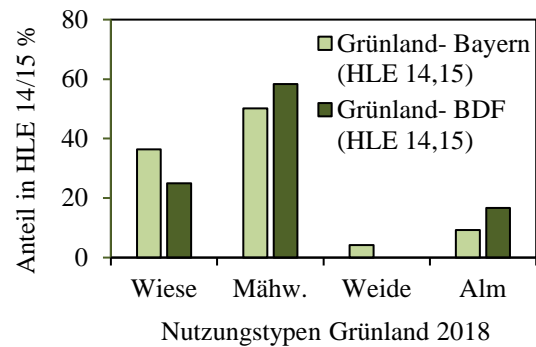


Abb. 83: Verteilung der Grünlandflächen der Grünland-BDF und der Grünlandflächen in Bayern in den Hauptlandschaftseinheiten 14 und 15 nach Wittmann (1991) auf die Nutzungstypen Wiese, Mähweide, Weide und anerkannte Almen und Alpen im Jahr 2018 (InVeKoS).

6.3.2 Entwicklung der Nutzung (Mahd und Beweidung) bei Grünland

Die in 6.3.1 beschriebenen Nutzungstypen des Grünlands zeichnen sich durch unterschiedliche Futterverwertung aus. Während Wiesen nur gemäht und Weiden nur beweidet werden, kommen auf Mähweiden beide Nutzungsformen vor. Die Schnitthäufigkeit (Anzahl Schnitte je Jahr) gibt einen Hinweis auf die Nutzungsintensität.

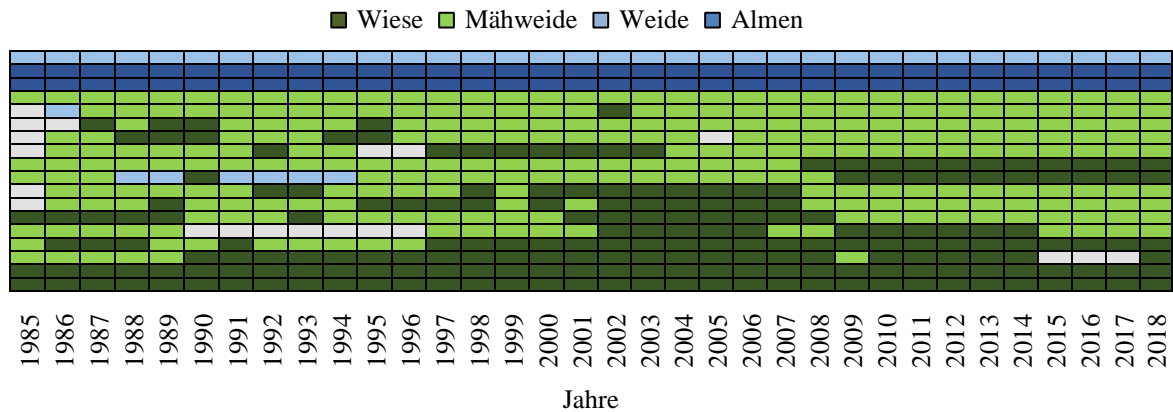


Abb. 84: Jährliche Nutzungsformen der einzelnen Grünland BDF (Zeilen), sortiert nach Anteil Jahre mit Beweidung

Im BDF-Programm gibt es ein Grünland in der Rhön (BDF 96), das im Beobachtungszeitraum jährlich beweidet wurde. Eine Almfläche (BDF 3) wird seit 1997 als extensive Dauerweide in den Sommermonaten genutzt, während davor auch eine Schnittnutzung üblich war.

Zwei BDF wurden im Beobachtungszeitraum ausschließlich als Wiese genutzt (BDF 47, BDF 65), zwei in mehr als der Hälfte der Jahre (BDF 23, BDF 129) und weitere vier Grünland BDF in mehr als einem Drittel der Jahre. Die häufigste Nutzungsform der Grünland BDF war die Mähweide mit ein bis vier Schnitten bis in den Sommer und meist anschließender Nachbeweidung im Herbst. Bei zwei BDF wurde die Weidenutzung ab 2008 eingestellt und die Fläche nur noch als Wiese genutzt. Ansonsten traten immer wieder ein bis mehrjährige Unterbrechungen der Mähweidenutzung auf, wobei dann in der Regel ein zusätzlicher Schnitt im Herbst die Nachbeweidung ersetzte (Abb. 84).

6.3.2.1 Schnitthäufigkeit

Im Mittel lag die Schnitthäufigkeit über alle 18 Grünland BDF und für den gesamten Beobachtungszeitraum unter drei Schnitten pro Jahr ($2,4 \text{ Schnitte a}^{-1}$). Bei Wiesennutzung lag die Schnitthäufigkeit im Durchschnitt bei 3,3 Schnitten je Jahr im Gesamtzeitraum und 3,6 Schnitten in den letzten 10 Jahren (2009-2018). Mähweiden wurden durchschnittlich 2,5mal im Jahr gemäht (mit nur leicht steigender Tendenz von durchschnittlich 2,6 Schnitten von 2009 bis 2018) und in der Regel als letzte Nutzung im Jahr nachbeweidet. In Bayern wurden Anfang der 2000er Jahre etwa drei Viertel des Grünlands drei oder viermal im Jahr genutzt (Schnitte oder Beweidung) (Diepolder, M., 2006; Hartmann St. et al., 2011), sodass die mittlere Nutzungshäufigkeit der Grünland-BDF im Rahmen der bayernweit mittleren Nutzungsintensität liegt.

Die Nutzungsintensität hängt dabei stark von den regionalen Standortbedingungen ab. Während zwei Drittel der Grünland-BDF im Mittel weniger als dreimal pro Jahr geschnitten wurden, lagen die drei im Durchschnitt viermal und mehr geschnitten BDF alle im Allgäu (Abb. 86). Dort wurden zuletzt fünf bis sechs Schnitte pro Jahr angegeben (Abb. 85). Auch für den Bereich östlich von Garmisch bis Rosenheim ist intensives Grünland mit 5 und mehr Schnitten inzwischen verbreitet, dort allerdings nicht durch entsprechend intensive Grünland-BDF vertreten.

Neben den beiden überwiegend als Weiden genutzten BDF und den beiden Almflächen gab es zwei weitere Grünland-BDF mit weniger als durchschnittlich zwei Schnitten je Jahr in Ostbayern, darunter eine extensive Wiese und eine Mähweide (vergl. Abb. 86).

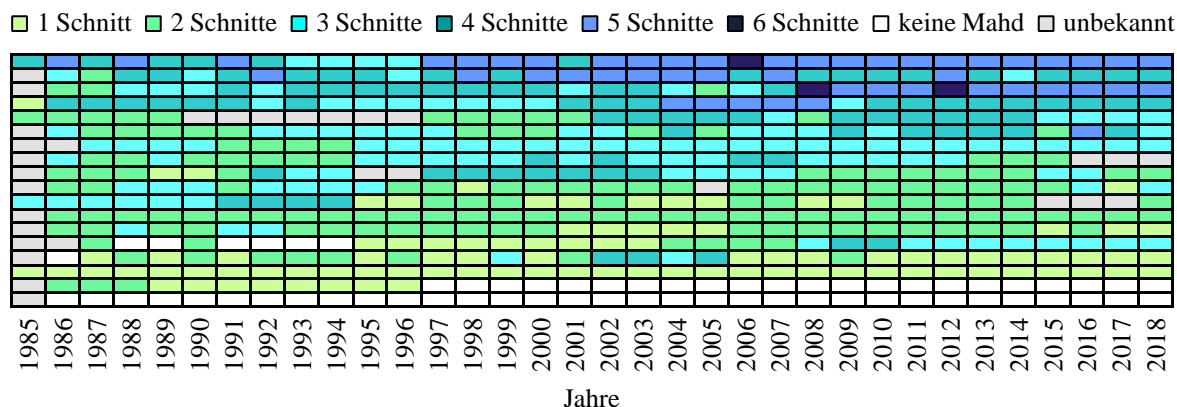


Abb. 85: Schnittnutzungen pro Jahr auf den einzelnen Grünland BDF, sortiert nach mittlerer Schnitthäufigkeit

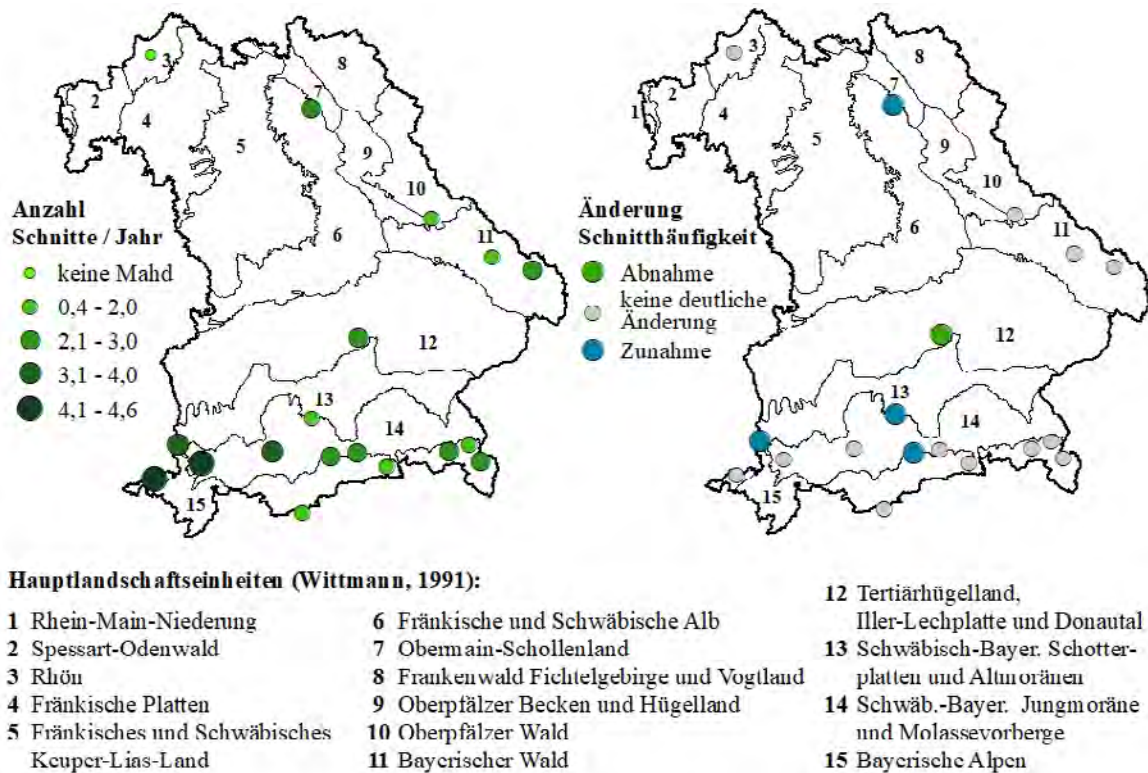


Abb. 86: Links: Durchschnittliche Anzahl von Schnitten je Jahr auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum; Rechts: BDF mit Änderungen der Schnitthäufigkeit im Beobachtungszeitraum (deutliche Änderungen bei einem Bestimmtheitsmaß (R^2) des Trends von $>0,3$)

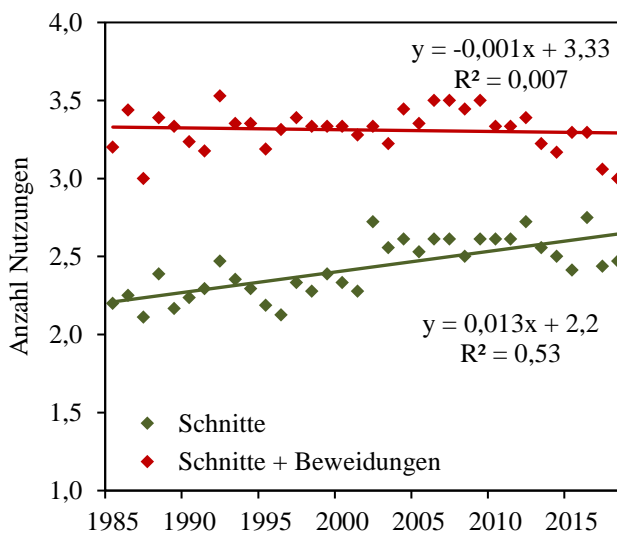


Abb. 87: Durchschnittliche Anzahl von Grünland-Nutzungen je Jahr über alle BDF: bei den Schnitten mittlere Schnitthäufigkeit, bei Schnitte + Beweidung wurden Angaben zur Beweidungshäufigkeit mitberücksichtigt.

Die jährliche Änderung der Schnitthäufigkeit pro Jahr geht aus Abb. 87 hervor. Hierbei wurde der Trend für die mittlere Anzahl der Schnitte über die Jahre berechnet. Zusätzlich wurde die Weidenutzung zusammen mit den Schnitten im Trend der gesamten Nutzungen angegeben, indem die Anzahl der Beweidungen, soweit bekannt, mit eingerechnet wurde. Bei Flächen mit Nachbeweidung beispielsweise erhöhte sich die Anzahl der Nutzungen um 1, bei mehreren Beweidungen im Jahr um die entsprechende Anzahl.

Während die Gesamt-Nutzungszahl über alle Grünland-BDF annähernd konstant blieb, konnte eine zunehmende Tendenz bei der Schnitthäufigkeit festgestellt werden. Bei vier

BDF lag die Zunahme im Bereich von 1,7 bis 3,7 Schnitten mehr gegen Ende des Beobachtungszeitraums, bei einer BDF konnte eine deutliche Abnahme festgestellt werden (vergl. Abb. 86). Über alle BDF betrug die Änderung durchschnittlich 0,013 Schnitte pro Jahr (entspricht rechnerisch etwa im Jahr je BDF einem „halben“ (+0,5) Schnitt mehr am Ende des Beobachtungszeitraums als zu Beginn).

Das Landesamt für Umwelt (LfU, 2014) konnte nachweisen, dass sich die Vegetationsperiode in Bayern zwischen 1961 und 2010 um 5,1 Tage je Jahrzehnt ausgedehnt hat. Das entspricht einer Verlängerung der Vegetationsperiode von 17 Tagen während des Beobachtungszeitraums des BDF-Programms im Durchschnitt in ganz Bayern, was eine Zunahme der Schnitthäufigkeit begünstigen kann. In den Höhenlagen zwischen 700 – 900 m konnte eine Verschiebung des Spätherbstbeginns (beobachtet anhand der Blattverfärbung der Stieleiche) im Zeitraum von 1981 bis 2010 um +3,9 Tage je Dekade festgestellt werden, während beim Frühlingsbeginn in dieser Höhenlage keine Veränderung feststellbar war. Anders sieht es in den Tiefenlagen unter 300 m mit einer Verfrühung des Frühlingsintritts von 6,3 Tagen je Dekade (1981-2010) aus.

6.3.2.2 Beweidung

Der Anteil der Jahre innerhalb des Beobachtungszeitraums, in denen mindestens einmal Tiere auf der Fläche standen (Weide + Mähweide) ist je BDF-Standort in Abb. 88 dargestellt. Bei beinahe 80 % der Grünland BDF fand Beweidung in mehr als der Hälfte der Jahre statt. Nur zwei BDF wurden nie beweidet.

Abb. 89 zeigt eine leicht abnehmende Tendenz der beweideten BDF, bzw. eine Phase im Zeitraum von 2002 bis 2007, in der die Nachbeweidung eher durch einen zusätzlichen Schnitt ersetzt wurde (in diesem Zeitraum übersteigt der Anteil der Wiesen für einige Jahre den Anteil der Mähweiden der Grünland-BDF, vergl. auch Abb. 84). Diese Entwicklung verlief entgegengesetzt zum bayernweiten Trend (vergl. Abb. 80).

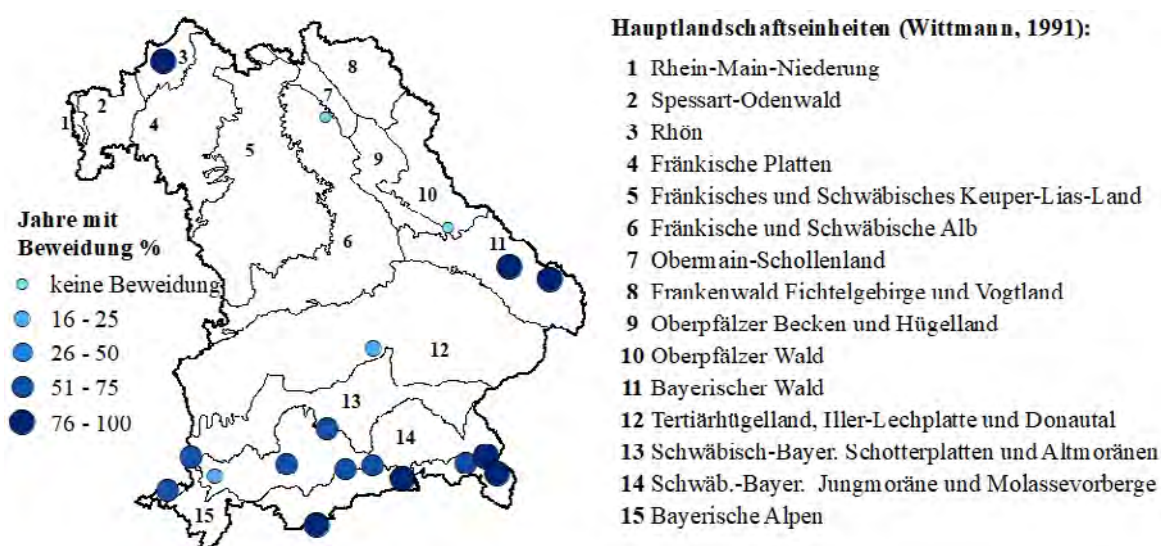


Abb. 88: Anteil der Jahre mit Beweidung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum

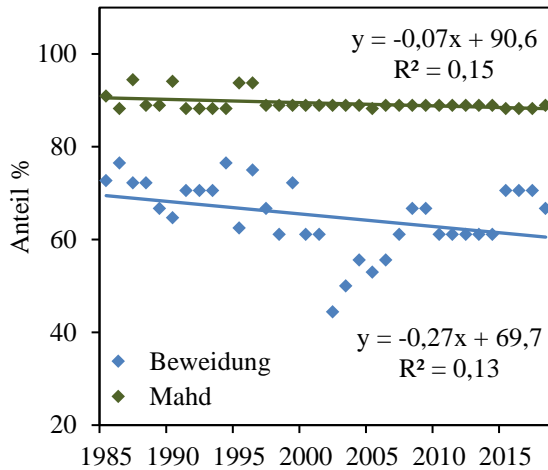


Abb. 89: Jährliche Anteile der Grünland-BDF mit Beweidung (blau), bzw. mit Mahd (grün) im Beobachtungszeitraum (unabhängig von der Intensität/Häufigkeit der Nutzungen je Jahr).

6.3.3 Entwicklung organische und mineralische Düngung

Die Düngung im Grünland orientiert sich an der Nutzungsintensität und der Verwertung des Aufwuchses. Im BDF-Programm wurde die Art der Düngung abgefragt (mineralisch, organisch), um Zusammenhänge zu den untersuchten Bodenparametern, wie Änderungen der Bodenfauna, des Humusgehalts und anderer Bodeninhaltsstoffe ableiten zu können.

Auf den Grünland-BDF wurde im Beobachtungszeitraum auf im Durchschnitt 44 % der Flächen mineralisch gedüngt, während durchschnittlich 75 % der Flächen organisch gedüngt wurden. Organische Düngung, direkt durch Tiere auf der Weide wird hier nicht als organische Düngung berücksichtigt, sondern lediglich die aktiv ausgebrachten Dünger. Der jährliche Anteil der Grünland-BDF mit mineralischer Düngung nahm dabei bis 2018 deutlich von über 70 % der BDF auf etwa ein Drittel der Flächen ab (Abb. 90), während der Anteil der organisch gedüngten BDF gleichblieb. Die Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA, 2015) führt den teilweisen Extensivierungstrend des Grünlands in Deutschland Anfang der 1990er Jahre auf Änderungen der europäischen Agrarpolitik zurück. Während auf ackerfähigen Standorten der Anbau von prämienberechtigtem Silomais als Ackerfutter zunahm, wurden Grünlandflächen in ungünstigen Lagen aufgrund der höheren Kosten je Energieeinheit Futter häufiger weniger intensiv genutzt.

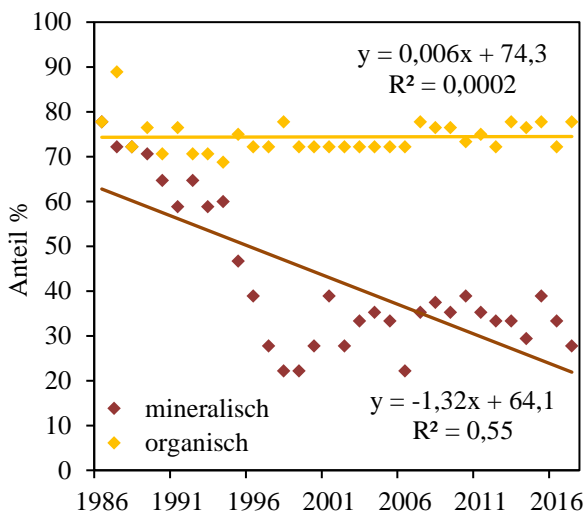


Abb. 90: Jährliche Anteile der Grünland-BDF mit organischer (orange) bzw. mineralischer Düngung (dunkelrot) im Beobachtungszeitraum.

Diese Entwicklung wurde durch Extensivierungsprogramme wie dem KULAP noch gefördert. Auch der Systemwechsel zum ökologischen Landbau spiegelt sich im abnehmenden

Trend der mineralischen Düngung wider. Zwischen 1997 und 2008 stellten drei Betriebe mit Grünland-BDF auf ökologischen Landbau um.

70 % der ausgebrachten organischen Dünger entfielen auf Gülle, aber auch Mist und Jauche wurden zumindest vereinzelt auf 11 BDF ausgebracht und machten insgesamt etwa 27 % der ausgebrachten organischen Dünger aus. Auf drei BDF machte diese Düngung den Hauptanteil aus, auf zehn BDF wurde in mehr als zwei Drittel der Jahre Gülle ausgebracht. Biogasgärreste wurden nur auf zwei BDF vereinzelt eingesetzt (2 und 8 Jahre innerhalb des Beobachtungszeitraums).

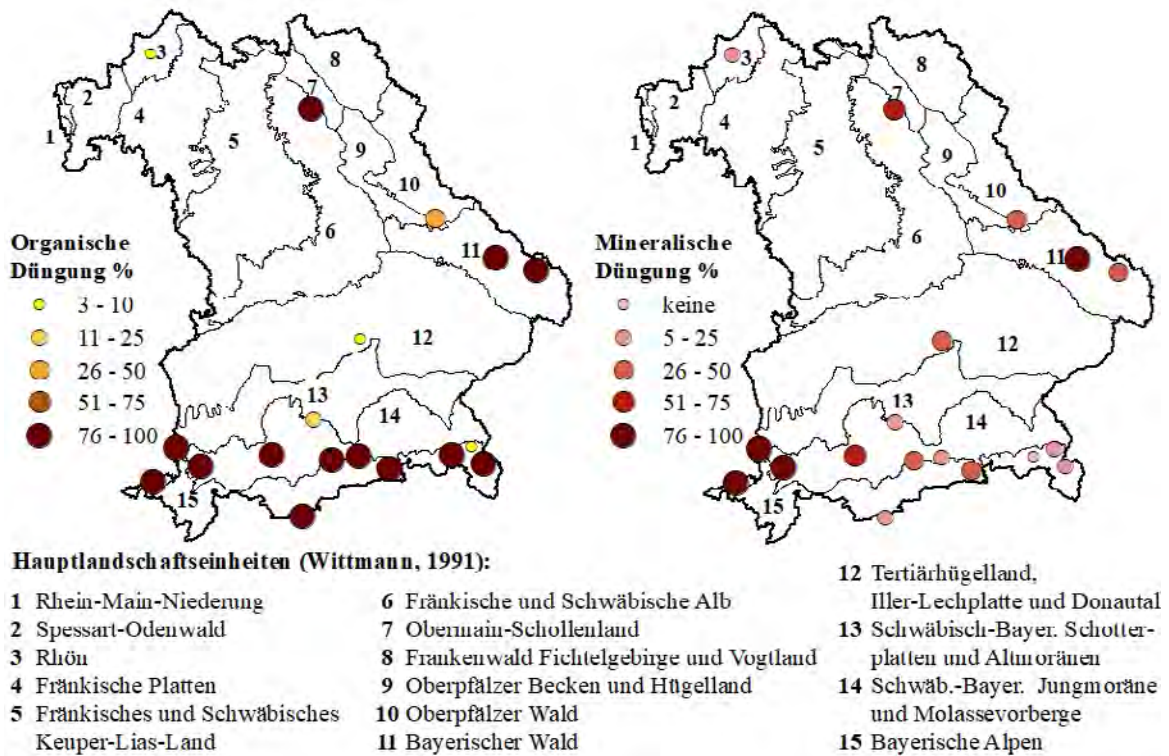


Abb. 91: Anteil der Jahre mit organischer Düngung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum (links) und Anteil der Jahre mit mineralischer Düngung auf den Grünland-BDF im Beobachtungszeitraum (rechts)

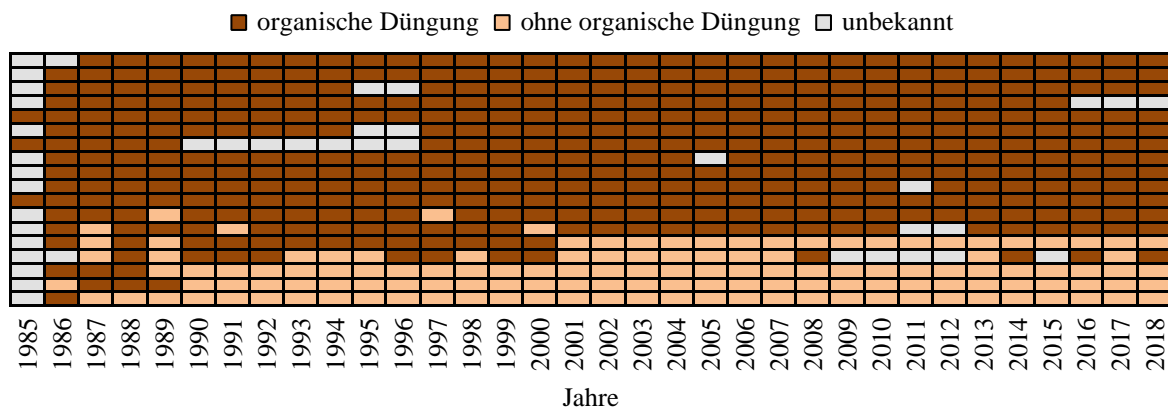


Abb. 92: Organische Düngung auf den einzelnen Grünland BDF, sortiert nach Anteil Jahre mit organischer Düngung insgesamt

Die Grünland- BDF können in durchgehend organisch gedüngte BDF und fünf BDF die nahezu nicht (nur in den 80er Jahren) oder nur geringfügig organisch gedüngt wurden, eingeteilt werden (Abb. 91 und Abb. 92). Eine dieser gering organisch gedüngten BDF zeigte eine nachweisbare Zunahme der Jahre mit organischer Düngung ab 2008, eine BDF eine Abnahme (keine Düngung nach 2000).

Als mineralische Düngung wurden alle Nährstoffgaben von Haupt- und Spurennährstoffen berücksichtigt (ausgenommen reine Kalkungen). Bei drei Grünland- BDF wurde in jedem Jahr des Beobachtungszeitraums eine mineralische Düngung angegeben. Auf drei weiteren BDF wurden zumindest in der Hälfte der Jahre mineralische Dünger ausgebracht. Nur auf einer Grünland- BDF wurde in keinem Jahr mineralisch gedüngt (Abb. 91, Abb. 93). Eine deutliche Abnahme der mineralischen Düngung konnte für drei Grünland- BDF festgestellt werden, eine Zunahme bei keiner.

Eine Ausbringung von Kalk fand auf 9 Grünland-BDF in der Regel ein bis drei Mal im gesamten Beobachtungszeitraum statt. Nur auf einer intensiven Mähweide wurde regelmäßiger (in 13 Jahren) gekalkt.

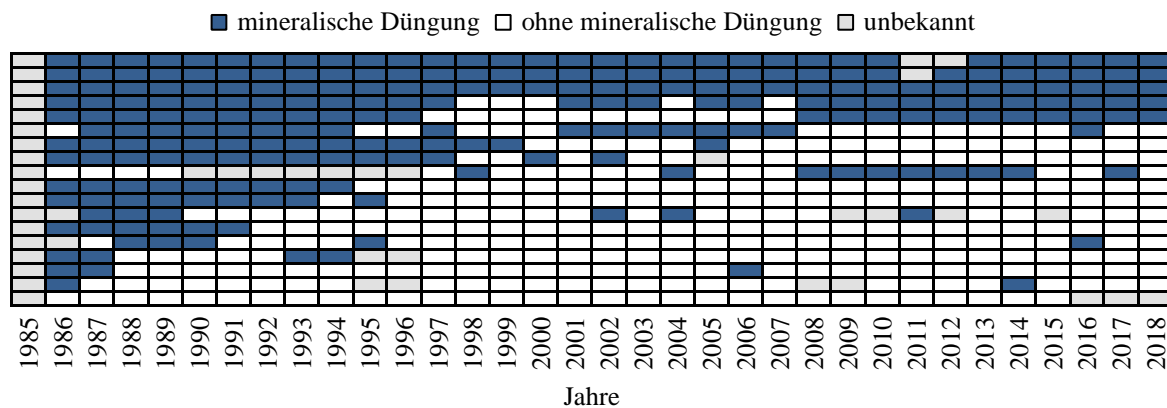


Abb. 93: Mineralische Düngung auf den einzelnen Grünland-BDF, sortiert nach Anteil Jahre mit mineralischer Düngung insgesamt

6.3.4 Korrelation der Bewirtschaftungsvariablen der Grünland-BDF

Die Düngungsintensität auf Grünlandflächen hängt mit der Anzahl der Schnittnutzungen zusammen. Dies bestätigt sich auch auf den Grünland- BDF durch eine signifikante Korrelation des Anteils an Jahren mit organischer und mineralischer Düngung mit der mittleren Schnitthäufigkeit (Abb. 94). Weiterhin geht eine Steigerung der Schnitthäufigkeit auch mit einer Zunahme der Jahre in denen organisch gedüngt wurde einher, eine Verringerung der Schnitthäufigkeit führt eher zu einer Abnahme der organischen Düngung. Die Ausbringung von mineralischem Dünger ist nachvollziehbarerweise deutlich negativ mit der ökologischen Bewirtschaftung korreliert. Beweidung beinhaltet eine geringere Mahdintensität.

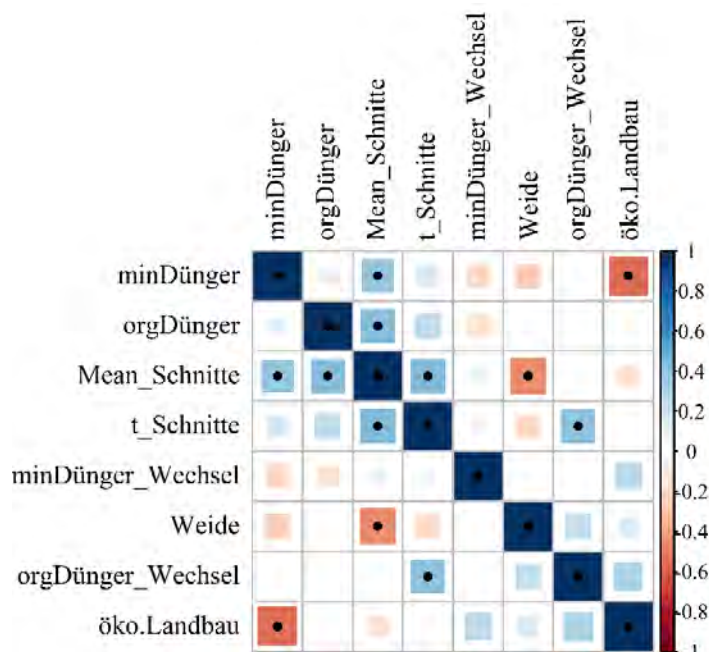


Abb. 94: Korrelationsmatrix der Bewirtschaftungsvariablen auf Grünland BDF (nach Kendalls Tau, für skalierte Werte, geclustert nach Ward)

6.4 Kurze Beschreibung der Bewirtschaftung und Standorte der BDF mit Sonderkulturen

6.4.1 Hopfen

Zwei der drei Hopfenparzellen des BDF-Programms liegen in der Hallertau in den oberbayerischen Landkreisen Eichstätt und Pfaffenhofen a.d. Ilm, eine in der mittelfränkischen Hopfenanbauregion Spalt im Landkreis Roth.

Die Spalter Hopfen-BDF liegt in der Gemeinde Röttenbach auf 375 m ü. NN und ist der nördlichste der drei Hopfenstandorte. Die Hopfenparzelle hat eine Hangneigung von 4 % mit einer östlichen Exposition. Mit durchschnittlich 680 mm Jahresniederschlag im Beobachtungszeitraum (1985-2018) fiel hier die geringste Niederschlagsmenge unter den Hopfen-BDF. Die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur betrug im gleichen Zeitraum 9°C. Die Bodenart im Ober- und Unterboden ist lehmiger Sand aus verwittertem Sandsteinkeuper als geologischem Ausgangssubstrat. Die BDF wurde durchgehend als Hopfenanbaufläche genutzt, Gassenbegrünung wurde bis 2018 nicht durchgeführt.

Die Eichstätter Hopfen-BDF liegt im Gemeindegebiet von Pförring auf 390 m ü. NN in einem mit 2 % relativ flachen Hopfengarten. Die Jahresdurchschnittstemperatur betrug für den Beobachtungszeitraum 9°C, die mittlere Jahresniederschlagsmenge 730 mm. Im Oberboden wurde ein toniger Schluff, im Unterboden ein schluffiger Ton bestimmt. In den 80er und 90er Jahren wurde in manchen Jahren als Gassenbegrünung Alexandrinerklee, Raps oder Senf gesät, ab 2010 eher Wintergerste.

Die Pfaffenhofener Hopfen-BDF befindet sich in der Gemeinde Wolnzach auf 420 m ü. NN in einem mit etwa 7% nach Südosten geneigten Hopfengarten. Mit einer Jahresdurchschnittstemperatur von 9°C und 820 mm Jahresniederschlag, war es der niederschlagsreichste BDF-Hopfenstandort. Die BDF befindet sich auf einem Lößstandort mit schluffigem Lehm als Bodenart in Ober- und Unterboden. In der ersten Hälfte des Beobachtungszeitraums wurde Raps als Gassenbegrünung angesät, später Roggen.

6.4.2 Wein

Am BDF-Programm sind drei Rebflächen beteiligt, die in den unterfränkischen Landkreisen Aschaffenburg, Würzburg und Kitzingen liegen.

Die Aschaffener BDF befindet sich in der Gemeinde Alzenau auf 215 m ü. NN in einer nach Westen exponierten Parzelle mit 34 % Hangneigung. Die BDF liegt westlich des Spesarts am Rand der Untermainebene und ist der westlichste der drei Wein-Standorte. Mit durchschnittlich 740 mm Jahresniederschlag im Beobachtungszeitraum (1985-2018) fiel hier die größte Niederschlagsmenge unter den Wein-BDF. Die mittlere Jahresdurchschnittstemperatur betrug im gleichen Zeitraum 10°C. Die Bodenart im Ober- und Unterboden ist ein lehmiger Sand aus Urgesteinsverwitterung (mit Zechsteinbeteiligung). Bis 2004 wurde die Weinparzelle bewirtschaftet, wobei jährlich mineralisch gedüngt und die natürliche Begrünung in den Reihen als organische Düngung gemulcht wurde. Im Jahr 2005 wurde die Fläche gerodet und bis 2011 unter Belassung der natürlichen Begrünung stillgelegt. Nach der Neuanpflanzung wurde ab 2012 in jeder zweiten Zeile eine Grasmischung als Gassenbegrünung etabliert. Die letzte mineralische Düngung wurde für 2013 angegeben, während ab 2014 jährlich Rebhäcksel als organische Düngung ausgebracht wurden.

Die Würzburger BDF befindet sich in der Gemeinde Randersacker südlich von Würzburg im Bereich des Oberen Muschelkalk auf 210 m ü. NN in einer nach Süden exponierten Parzelle mit 27 % Hangneigung. Mit im Mittel 600 mm Jahresniederschlag wies diese BDF den geringsten Niederschlag der Weinstandorte auf. Die Jahresdurchschnittstemperatur im Beobachtungszeitraum lag bei 10°C. Die Bodenart im Ober- und Unterboden ist ein toniger Lehm. Bis 1996 wurde nur in drei Jahren mineralisch gedüngt, ansonsten der natürliche Aufwuchs gemulcht und mit Stroh, Rebhäckseln und einmal mit Mist organisch gedüngt. Ab 1997 wurden auch Gerste, Raps und Ackergras wechselzeilig, meist als Herbst/Winterbegrünung angesät und ab diesem Zeitpunkt auch fast jedes Jahr mineralisch gedüngt. Kompost und Rebhäcksel wurden weiterhin eingesetzt, mit zunehmender Häufigkeit gegen Ende des Beobachtungszeitraums.

Die Kitzinger BDF befindet sich in der Gemeinde Abtswind auf 383 m ü. NN in einer nach Südwesten exponierten Parzelle mit 45 % Hangneigung. Als Jahresniederschlag fielen durchschnittlich 650 mm, die Jahresdurchschnittstemperatur lag im Mittel bei 9°C. Das geologische Substrat ist Tonschiefer mit Sandsteinverwitterung aus dem Gipskeuper. Im Oberboden wurde ein sandiger Lehm, im Unterboden ein toniger Lehm als Bodenart bestimmt. Die BDF wurde im Beobachtungszeitraum durchgehend (ohne Stilllegung) als Rebfläche genutzt. In der Fahrgasse wurde ab etwa Anfang der 2000er eine Dauerbegrünung etabliert, zuvor wurden die Gassen bereits seit Beginn des Beobachtungszeitraums mit Saadmischungen aus Gerste, Roggen und Wicken oder Weizen und Weidelgras begrünt. Eine Ausbringung von Stroh und Rebhäcksel fand in fast jedem Jahr zusätzlich zur jährlichen mineralischen Düngung in der offenen Gasse statt.

6.4.3 Obst

Die einzige Obst-BDF liegt im Landkreis Lindau (Bodensee) in der Gemeinde Wasserburg in einer (inzwischen ehemaligen) Apfelpflanzung (bis 2017 Obst, danach Umbau zur Rebfläche) auf 420 m Höhe. Sie liegt in der südlichsten Obst- und Weinbauregion Deutschlands mit einer mittleren Jahresdurchschnittstemperatur von 9,6 °C und 1200 mm Jahresniederschlag für den Bereich der BDF. Die Fläche ist im Mittel 10 % geneigt und nach Süden exponiert, die Bodenart im Ober- und Unterboden ist ein sandiger Lehm. Seit Beginn des Boden-Dauerbeobachtungsprogramms wurden auf der Fläche Apfelbäume in Reihen

kultiviert. Im Jahr 1997 fand eine Neuanpflanzung der Obstbäume statt. Zwischen den Reihen war eine Dauerbegrünung etabliert, die jährlich im Schnitt 7x gemulcht wurde. Bis Anfang der 2000er Jahre wurde die Fläche nur mineralisch gedüngt, danach sind die Angaben der Schlagdaten lückenhaft. Ab etwa 2010 fand regelmäßig eine organische Düngung mit Hühnermistpellets statt.

7 Zusammenfassung Repräsentativität und Stichprobengröße

Die Betrachtungen der Standorteigenschaften der bayerischen Acker- und Grünland-BDF im Vergleich zu den gesamt-bayerischen Verhältnissen, sowie der Ausprägung der landwirtschaftlichen Bewirtschaftung auf den BDF im Vergleich zur landesweit typischen Praxis, konnten sowohl Abweichungen der Stichprobe von der Grundgesamtheit aufdecken als auch Übereinstimmungen bestätigen. Insbesondere bei der schleichenden Verringerung der Anzahl der BDF ist eine solche Überprüfung immer wieder notwendig und kann aufzeigen, wo besondere Defizite entstehen.

Bei den Ackerflächen zeigte sich, dass die Verteilung der BDF auf die Boden- und Standorteigenschaften wie auch auf die regionalen Klimate in Bayern, weiterhin als repräsentativ erachtet werden kann. Eine Abweichung von der bayernweiten Verteilung war mit Ausnahme des Bodentyps für keinen Parameter festzustellen. Beim Bodentyp zeigte sich eine leichte Überrepräsentanz von Pseudogleyen und Parabraunerden, während Gleye und Pararendzinen bei der Bodendauerbeobachtung eher unterrepräsentiert waren. Da die Auswertungen bei den Acker-BDF sich im Wesentlichen auf die Oberböden bzw. Ap-Horizonte beziehen und die Übergänge zwischen den entsprechenden Bodentypen auf einem Feldstück ein Kontinuum darstellen, ist die geringfügige Verzerrung im Vergleich zur bayerischen Grundgesamtheit allerdings vertretbar. Auch werden alle ackerbaulich relevanten Standorteigenschaften gut abgedeckt. Ebenso konnte für die Bewirtschaftung der Acker-BDF eine gute Übereinstimmung bei den Fruchtfolgen mit den bayerischen Verhältnissen aufgezeigt werden. Auch typische bayernweite Veränderungen in den letzten Jahrzehnten, wie die Zunahme des Maisanbaus, oder die Abnahme von Sommergetreide zeichneten sich im BDF-Programm ab. Leicht unterrepräsentiert bei den BDF waren Betriebe mit Viehhaltung. Hierbei war vor allem der Anteil an rinderhaltenden Betrieben um etwa 20% geringer als der bayernweite Anteil. Dies zeigte sich für die Acker-BDF auch in einem leicht geringeren Maisanteil insgesamt. Berücksichtigt werden muss hierbei allerdings, dass bei den bayernweiten Zahlen der Viehhalter auch zahlreiche Betriebe mit geringer Stückzahl Vieh enthalten sind, die bei den BDF-Betrieben keine Rolle spielen. Dennoch kann die gewählte Stichprobe der Acker-BDF im Wesentlichen als repräsentativ für Bayern angesehen werden. Abgesehen davon, dass vergleichbare Zeitreihen von Bodenuntersuchungen ohnehin nur für die BDF vorliegen, sind die für die Acker-Stichprobe festgestellten Entwicklungen auch auf die bayerische Ackerfläche in ihrer Gesamtheit übertragbar.

Bei den Grünlandflächen ist die Verteilung der BDF durch eine Ballung in Südbayern und hier besonders im Voralpenraum geprägt. Dies entspricht zwar auch der tatsächlichen Verteilung des Grünlands in Bayern, dennoch sind andere Regionen, insbesondere auch stärker ackerbaulich geprägte wie z.B. das Tertiärhügelland, unterrepräsentiert. Berücksichtigt man die vier inzwischen beendeten oder umgebrochenen Grünland-BDF, bestätigt sich die Konzentration im Voralpenraum von Beginn des BDF-Programms an. Nur eine dieser vier BDF lag nördlich der Landschaftseinheit 14 (Wittmann, 1991).

Für die Verteilung hinsichtlich klimatischer Faktoren, wie Höhenstufe, Jahresniederschlag und Jahresdurchschnittstemperatur, konnte nachgewiesen werden, dass die Stichprobe der Grünland-BDF von der bayerischen Grundgesamtheit abweicht. Die BDF repräsentieren gegenüber Gesamtbayern somit ein kühleres und niederschlagsreicheres Grünland. Für viele andere Parameter sind die Abweichungen deutlich zu erkennen, jedoch ist der Nachweis bei einer großen Anzahl von Klassen und der deutlich niedrigeren Stichprobe nicht immer möglich. Eine Abweichung bei der Verteilung auf die Bodentypen zeigte sich in ähnlicher Form

wie bei den Acker-BDF: mehr Parabraunerden und Pseudogleye, weniger Gleye und Braunerden bei den BDF im Vergleich zu Bayern. Gerade angesichts der Tatsache, dass Grünland stärker als Ackerflächen besonders an den klimatisch und bodenkundlich benachteiligten Standorten auftritt, also auf Flächen, wo es zu kühl, zu nass, zu steinig oder zu trocken für den Ackerbau ist, kann auch die notwendige Abdeckung landwirtschaftlich relevanter Flächenanteile bei der Stichprobenzahl von 18 BDF diskutiert werden. Beispielsweise machen Auen- und Moorböden etwa 8 % der Grünlandfläche in Bayern aus, sind allerdings mit keiner der 18 ausgewerteten Grünland-BDF vertreten. Für die quantitative Abschätzung der Veränderung der Humusgehalte wären jedoch gerade diese humosen Böden von großer Bedeutung. Eine der Flächen mit Nutzungsänderung ist jedoch inzwischen unter Grünlandnutzung auf einem Moorstandort vertreten und zwei weitere ehemalige Acker-BDF in Oberfranken werden inzwischen als Grünland genutzt, so dass der Anteil von Grünlandstandorten außerhalb des Voralpenraums im BDF-Programm in den letzten Jahren zugenommen hat.

Die Nutzungstypen im BDF Grünland sind entsprechend ihrer Lage in Bayern nur für den Voralpenraum repräsentativ. Während bayernweit die Wiesennutzung am meisten verbreitet ist, kommen in den Landschaftseinheiten 14 und 15 überwiegend Mähweiden, am zweithäufigsten Wiesen, gefolgt von Weiden in einem mit den Grünland-BDF vergleichbaren Verhältnis vor. Die Nutzungsintensität liegt im Durchschnitt des gesamten Beobachtungszeitraums im Rahmen der 2006 für Bayern geschätzten 3 bis 4 Nutzungen (Diepolder, M., 2006). Intensive Wiesennutzung mit 5 oder mehr Schnitten in den letzten Beobachtungsjahren beschränken sich im BDF-Programm allerdings auf das Allgäu, während diese Nutzungsintensität in Bayern inzwischen im gesamten „Grünlandgürtel“ verbreitet ist. Auch der Anteil der Jahre mit mineralischer Düngung der BDF legt nahe, dass die Grünland-BDF östlich des Allgäus inzwischen eher die extensiver genutzten Grünländer repräsentieren.

Die Stichprobe des Grünlandes ist im strengen Sinne nicht repräsentativ für Bayern, auch werden einige wichtige Standorttypen nicht abgedeckt. Effekte, die für die Stichprobe der Grünland-BDF festgestellt werden, können daher nur mit Einschränkungen auf das Grünland Bayerns übertragen werden. Angesichts der Tatsache, dass keine vergleichbaren Zahlen für Bayern vorliegen, soll das jedoch nicht die Bedeutung dieser Stichprobe in Frage stellen, sondern einen Anstoß zur Nachjustierung und Optimierung der Flächenausstattung liefern.

8 Übersicht Kooperationen und Projekte im Rahmen von BDF

8.1 Kooperationen

Das BDF-Programm in Bayern beruht auf der Bodenschutzkonzeption des Bundes aus dem Jahr 1985, der später das Bundes-Bodenschutzgesetz folgte. Das bayerische BDF-Programm ist seitdem Teil eines bundesweiten Boden-Monitorings, das in ähnlichem Umfang deutschlandweit durchgeführt wird und unter anderem Grundlagen für den Bodenschutzbericht des Bundes liefert. Im Jahr 2023 startet das UBA voraussichtlich mit einem nationalen Bodenmonitoring-Zentrum, dessen Herausforderung die Harmonisierung und Qualitätssicherung der bundesweiten BDF-Daten sein wird, um mit einer Art Boden-Ampel die Bodenqualität in Deutschland zu bewerten und einen nationalen Beitrag zur Umsetzung der EU-Ziele zu leisten.

Daneben sind die Daten und Rückstellproben aus dem bayerischen BDF-Programm Grundlage für weitere Forschungsprojekte, die in Kooperation mit verschiedenen Institutionen durchgeführt wurden. Die folgende Aufzählung gibt einen Überblick über die bisher durchgeführten Forschungstätigkeiten.

Die Datenweitergabe erfolgte jeweils in anonymisierter Form. Auch die genauen Standortkoordinaten sind bei Veröffentlichungen jeweils auf 1000m glatt gerundet.

Übersicht der Kooperationsprojekte im Rahmen von BDF:

SUSALPS, 2015: sustainable use of alpine and pre-alpine grassland soils in a changing climate, <https://www.susalps.de/>, Projektpartner: Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Technische Universität München (TUM), Universität Bayreuth, Helmholtz Zentrum München, Universität Würzburg, WWL Umweltplanung und Geoinformatik GbR, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Projektziel: Das Ziel von SUSALPS ist die Verbesserung des Kenntnisstandes der Auswirkung derzeitiger und zukünftiger Klima- und Bewirtschaftungsbedingungen auf wichtige Ökosystemfunktionen von Grünlandböden. Auf Basis dieser Erkenntnisse sollen nachhaltige Bewirtschaftungsformen für Grünland in den Alpen und im Alpenvorland entwickelt werden, die die Klimaschutzfunktion dieser Böden unterstützen.

Veränderungen der **Humusqualität** und -quantität bayerischer Böden im Klimawandel - Erfassung prognostizierter Auswirkungen, 2015: Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Bodenkunde, im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz, Projektziele: Erfassung der Auswirkung des Klimawandels auf die Gesamthumusvorräte und die Humusqualität anhand von Rückstellproben aus der Boden-Dauerbeobachtung von LfU, LfL und LWF.

SOIL-DE, 2018: Entwicklung von Indikatoren zur Bewertung der Ertragsfähigkeit, Nutzungsintensität und Vulnerabilität landwirtschaftlich genutzter Böden in Deutschland, <https://flf.julius-kuehn.de/soil-de.html>, Projektpartner: Julius Kühn Institut Braunschweig (JKI), Universität Osnabrück, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR), u.a., Projektziel: Im Projekt SOIL-DE werden Indikatoren zur Bewertung der Funktionalität, der Potenziale, der Nutzungsintensität und der Vulnerabilität von Böden entwickelt, um die

Qualität und die Wertigkeit von Böden sowohl rückblickend, als auch unter aktueller Nutzung einschätzen zu können. Zusätzlich soll der Flächenverlust von Böden räumlich, zeitlich und qualitativ beurteilt werden.

SattGrün, 2018: Satellitengestützte Information zur Grünlandbewirtschaftung, <https://www.julius-kuehn.de/aktuelles/aktuell/news/projektstart-sattgruen-satellitengestuetzte-information-zur-gruendlandbewirtschaftung/>, Projektpartner: Julius Kühn Institut Braunschweig, Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e. V., Müncheberg, Humboldt Universität Berlin, Deutscher Wetterdienst, u.a., Projektziel: Ein Ziel des Projekts ist es, dLandwirten moderne Werkzeuge bereitzustellen, die die Bewirtschaftung von Grünland unterstützen. Was im Ackerbau als Precision Farming Eingang gefunden hat, ist in der Grünlandwirtschaft kaum etabliert, da wichtige Informationen bisher nicht verfügbar waren. Die Projektgruppe um „Sattgrün“ nutzt Wetterdaten und Prognosen sowie aktuelle Satellitenbilder der Europäischen Sentinel Satelliten und kombiniert diese Daten mit Computermodellen, um beispielsweise die optimalen Erntetermine für die besten Qualitätseigenschaften des Futters zu ermitteln.

GreenWindows 4.0, 2019: Reduktion von Treibhausgas-Emissionen und Ammoniak durch optimiertes N-Management, Technische Universität München (TUM), Lehrstuhl für Pflanzenernährung, gefördert durch das Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), Projektziel: Treibhausgas-Emissionen (THG-Emissionen) können durch eine Erhöhung der Stickstoffeffizienz, mit dem Ziel hoher Erträge bei reduziertem Ressourceneinsatz, vermindert werden. Optimierungen des Stickstoffmanagements im System Boden-Pflanze-Tier tragen wesentlich dazu bei und erlauben es sowohl Lachgas- wie auch Ammoniakemissionen zu reduzieren. In diesem Projekt sollen Managementmaßnahmen zur Optimierung der N-Düngung, insbesondere von Winterweizen und Mais, entwickelt und hinsichtlich ihres Beitrags zur Minderung von THG-Emissionen bewertet werden.

Zeitliche Trends der Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden, 2019: Zeitliche Trends der Kohlenstoffvorräte landwirtschaftlich genutzter Böden – Integration und Bewertung der Ergebnisse der Bodendauerbeobachtungsflächen (BDF) in Deutschland, https://www.thuenen.de/de/ak/projekte/zeitliche-trends-der-kohlenstoffvorraete-landwirtschaftlich-genutzter-boeden/?no_cache=1, Thünen Institut Braunschweig, Projektziele: Analyse und Bewertung der Entwicklung der Vorräte an organischem Bodenkohlenstoff in den Bodendauerbeobachtungsflächen unter langjähriger Acker- oder Grünlandnutzung. Analyse und Bewertung der steuernden Einflussfaktoren für die zeitlichen Trends des organischen Kohlenstoffs in landwirtschaftlich genutzten Böden. Welche Standorte zeigen Veränderungen und welche nicht? Erfassung und Bewertung der Unsicherheit bei Mehrfachbeobachtungen auf langjährig beobachteten und mehrfach durch unterschiedliches Personal wiederbeobachteten Böden. Welche potenziellen Fehlerquellen gibt es und wie lassen sich diese minimieren? Entwicklung eines Anforderungsprofils und einer Strategie für die Weiterentwicklung der Datenharmonisierung für Bodendauerbeobachtungsflächen.

Maßnahmenbegleitendes **Monitoring Sickerwasser** nach Wasserrahmenrichtlinie, 2020: Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), Projektziel: Modellierung des Bodenwasser- und Stoffhaushalts (2010 - 2020).

EO4CarbonFarming, 2021: Machbarkeitsstudie zur Quantifizierung des organischen Kohlenstoffgehalts im Boden (Humus) anhand von Erdbeobachtungsdaten. <https://business.esa.int/projects/eo4carbonfarming>: Projektnehmer: Vista GmbH, Deutschland, im Auftrag der European Space Agency (ESA), Projektziel: In dieser Kickoff-Studie wurde ein Dienst entwickelt, mit dessen Hilfe der Gehalt von organischem Bodenkohlenstoff anhand von optischen Erdobservationsdaten abgeleitet werden kann. Dies ermöglicht ein kontinuierliches Monitoring, um beispielsweise den Erfolg von Kohlenstoff konservierenden Methoden zu erfassen oder den Verlust von organischem Material zu belegen.

Hintergrundwerte für PFAS und (Mikro)Kunststoffe - bundesweit repräsentative Beprobung von landwirtschaftlich genutzten Böden, 2022: Projektnehmer: Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Ökologie, Schmallenberg, im Auftrag des Umweltbundesamt, Projektziel: Ziel des Projektes ist es durch bundesweite Untersuchungen an 600 Standorten (400 Acker- und 200 Grünlandstandorten einen Überblick über die Hintergrundbelastung mit PFAS und Mikroplastik auf landwirtschaftlich genutzten Böden zu erhalten.

MoMoK, 2022: Aufbaus eines deutschlandweiten Moorbodenmonitorings für den Klimaschutz - Teil 1: Offenland, Thünen Institut für Agrarklimaschutz, Braunschweig, Projektziel: Ziel des Moorbodenmonitorings ist die Abschätzung der deutschlandweiten Treibhausgasemissionen, vor allem Kohlenstoffdioxid, aus Moor- und weiteren organischen Böden durch Auswertung von Geländehöhenänderungen. Die Arbeiten sollen insbesondere die Emissionsberichterstattung der Bundesrepublik Deutschland im Sektor Landnutzung, Landnutzungsänderung und Forstwirtschaft verbessern, welche jährlich am Thünen-Institut für Agrarklimaschutz erstellt wird.

8.2 Veröffentlichungen

Übersicht über Veröffentlichungen, basierend auf Ergebnissen aus dem BDF-Programm:

Barth, N., Brandtner, W., Müller, C. et al. (2000): Boden-Dauerbeobachtung, Einrichtung und Betrieb von Boden-Dauerbeobachtungsflächen in: Rosenkranz, Ensele, Hareß HB Bodenschutz 9152, 32. Lfg. XI/00.

Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985 – 1995, Teil I Einführung – Stoffbestand des Bodens – Nährstoffe, Schadstoffe. – Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 4/97.

Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985 – 1995, Teil II Stoffeinträge – Stoffausträge – Schwermetall-Bilanzierung verschiedener Betriebstypen. – Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 5/97.

Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau (1997): Boden-Dauerbeobachtungs-Flächen – Bericht nach 10jähriger Laufzeit 1985 – 1995, Teil III Boden: Gefüge, Organische Substanz, Bodenorganismen – Vegetation. – Schriftenreihe der Bayer. Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau, 6/97.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2005): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Tagungsband 4. Kulturlandschaftstag, Zwischenbilanz der wichtigsten

- Ergebnisse 1985 – 2005, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 8/2005.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern Teil 1: Konzept, Bewirtschaftung, Standort, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 2/2007.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2008): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Teil 2: Vegetation auf Äckern und im Grünland, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 5/2008.
- Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2009): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern, Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007, Schriftenreihe der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft 10/2009 - 2. unveränderte Aufl.
- Beck, T. & Beck, R. (1994): Die mikrobielle Biomasse in landwirtschaftlich genutzten Böden – 1. Mitteilung: Die räumliche Verteilung der Biomasse in Böden. – *Agribiological Research* 47/3-4: 284-294.
- Beck, T., Capriel, P., Borchert, H. & Brandhuber, R. (1995): Die mikrobielle Biomasse in landwirtschaftlich genutzten Böden – 2. Mitteilung: Beziehungen der Biomasse zu chemischen und physikalischen Bodeneigenschaften. – *Agribiological Research* 48/1: 74-82.
- Beck, R. (2011): Humusgehalte Bayerns – Humuszehrung oder Humusmehrung?, Tagungsband Fachtagung am 13. Oktober 2011 in Hof, Den Boden fest im Blick – 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern, Umwelt Spezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt Hof, 60-62.
- Capriel, P., Beck, T., Borchert, H., Gronholz, J. & Zachmann, G. (1995): Hydrophobicity of the Organic Matter in Agricultural Soils. – *Soil Biology and Biochemistry*, 11: 1453-1458.
- Capriel, P., Seiffert, D., (2011): 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern – Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. Schriftenreihe der LfL (10). 1-46.
- Dalhäuser, H., Diez, T., Fried, G., Müller, Ch., Schubert, A., (1990): Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. Standortauswahl Einrichtung Probenahme Analytik. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), München.
- Jordan, F., Müller, C. (1998): Oberflächenabfluss, Boden- und Nährstoffaustrag von ackerbaulich genutzten Flächen. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenk. Gesellsch.* 87: 375-378.
- Kühnel, A., Wiesmeier, M., Kögel-Knabner, I., Spörlein, P. (2020): Veränderungen der Humusqualität und -quantität bayerischer Böden im Klimawandel. *UmweltSpezial*, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof.
- Kühnel, A., Wiesmeier, M., Spörlein, P., Schilling, B., Kögel-Knabner, I., (2019): Influence of drying vs. freezing of archived soil samples on soil organic matter fractions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 182(5), 772-781.
- Kühnel, A., Garcia-Franco, N., Wiesmeier, M., Burmeister, J., Hobbey, E., Kiese, R., Dannenmann, M., Kögel-Knabner, I. (2019): Controlling factors of carbon dynamics in

- grassland soils of Bavaria between 1989 and 2016. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 280, 118-128.
- Mayer, S., Kühnel, A., Burmeister, J., Kögel-Knabner, I., Wiesmeier, M., (2019): Controlling factors of organic carbon stocks in agricultural topsoils and subsoils in Bavaria. *Soil & Tillage Research*, 192, 22-32.
- Möller, M., Zepp, S., Wiesmeier, M., Gerighausen, H., Heiden, U. (2022) Scale-specific Prediction of Topsoil Organic Carbon Contents using Terrain Attributes and SCMaP Soil Reflectance Composites. *Remote Sensing*, 14, 2295.
- Müller, C., Lepschy, J., Süß, A. & Wurzinger, A. (1990): Atmosphärische Stoffdepositionen in agrarischen Ökosystemen. Erste Ergebnisse aus dem bayerischen Bodenbeobachtungsprogramm. – VDLUFA-Kongressband; Berlin.
- Müller, C. (1992): Das Bayerische Bodenbeobachtungsprogramm – Zielsetzung, Konzeption und Durchführung – Bereich Landwirtschaft. – VDI Tagungsbericht Umweltmesstechnik: 187-204; Leipzig.
- Müller, C. (1996): 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtungsflächen- Zwischenbilanz und Ausblick. In: Arbeitsgemeinschaft Alpenländer, Alpen Adria (Hrsg): Spezifische Bodenbelastungen im Alpenraum. Expertentagung der gemeinsamen Arbeitsgruppe Bodenschutz, 14/15.3.1996, Salzburg
- Müller, C. (1997): Schwermetallbilanzen ausgewählter landwirtschaftlicher Betriebe. – VDLUFA-Schriftenreihe 46: 529-532.
- Müller, C. (1998): 10 Jahre Boden-Dauerbeobachtungsflächen – Zwischenbilanz und Ausblick. – *Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch.* 87: 303-306.
- Müller, C. (1999): Stoffbestand des Bodens – Einträge, Austräge auf landwirtschaftlichen Flächen am Beispiel Schwermetalle (Ergebnisse aus dem bayerischen BDF-Programm). *Marktreidwitzer Bodenschutztag. Tagungbd. 1 Bodenschutz und Altlastensanierung*, 253-257.
- Müller, C., Henkelmann, G. (2002): Betrieb von BDF und Untersuchungsschwerpunkte auf landwirtschaftlich genutzten Flächen in Bayern. In: *Boden-Dauerbeobachtung in Deutschland – Ergebnisse aus den Ländern; Workshop im Umweltbundesamt 16./17.4.2002 – UBA-Texte 66/02*, 72-80.
- Müller, C, Ebert, T. (2002): Schwermetall-Einträge durch Wirtschaftsdünger von 1986 bis heute – Ergebnisse aus dem bayerischen Bodenbeobachtungsprogramm. *VDLUFA-Kongressband, Leipzig 2002*.
- Tokarski, D., Wiesmeier, M., Siewert, C., Doležalová-Weissmannová, H., Kalbitz, K., Demyan, MC., Kučerík, J., (2020): Linking thermogravimetric data with soil organic matter fractions. *Geoderma*, 362, 114124.
- Walter, R., Burmeister, J. (2011): 25 Jahre Regenwurmerfassung auf landwirtschaftlich genutzten Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern, *Tagungsband Fachtagung am 13.Oktober 2011 in Hof, Den Boden fest im Blick – 25 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern, Umwelt Spezial, Bayerisches Landesamt für Umwelt Hof*, 10-21.
- Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Haug, S., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2012): Soil organic carbon stocks in southeast Germany (Bavaria) as affected by land use, soil type and sampling depth. *Global Change Biology*, 18, 2233-2245.

- Wiesmeier, M., Hübner, R., Barthold, FK., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2013): Amount, distribution and driving factors of soil organic carbon and nitrogen in cropland and grassland soils of southeast Germany (Bavaria). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 176, 39-52.
- Wiesmeier, M., Schad, P., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2014): Quantification of functional soil organic carbon pools for major soil units and land uses in southeast Germany (Bavaria). *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 185, 208-220.
- Wiesmeier, M., Hübner, R., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2014): Carbon sequestration potential of soils in southeast Germany derived from stable soil organic carbon saturation. *Global Change Biology*, 20(2), 653-665.
- Wiesmeier, M., (2014): Der Humuskörper bayerischer Böden im Klimawandel – Auswirkungen und Potenziale. *UmweltSpezial*, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof.
- Wiesmeier, M., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Reischl, A., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2015): Land use effects on organic carbon storage in soils of Bavaria: the importance of soil types. *Soil and Tillage Research*, 146, 296-302.
- Wiesmeier, M., Poeplau, C., Sierra, C., Maier, H., Frühauf, C., Hübner, R., Kühnel, A., Spörlein, P., Geuß, U., Hangen, E., Schilling, B., von Lützwow, M., Kögel-Knabner, I., (2016): Projected changes of soil organic carbon in temperate agricultural soils in the 21st century: effects of climate change and carbon input trends. *Scientific Reports*, 6, 32525.
- Wiesmeier, M., Kühnel, A. (2018): Indikatoren-Kennblatt zum Klimafolgenmonitoring I-BO-4 Humusentwicklung. In: Indikator-Kennblätter Anlage 2 zur Machbarkeitsstudie „Indikatoren zu Klimafolgen und Klimaanpassung in Bayern“, Bayerisches Landesamt für Umwelt, Hof, 60-67.
- Zepp, S., Heiden, U., Bachmann, M., Wiesmeier, M., Steininger, M., van Wesemael, B. (2021) Estimation of Soil Organic Carbon Contents in Croplands of Bavaria from SCMaP Soil Reflectance Composites. *Remote Sensing*, 13, 3141.

8.3 Übersichtskarte

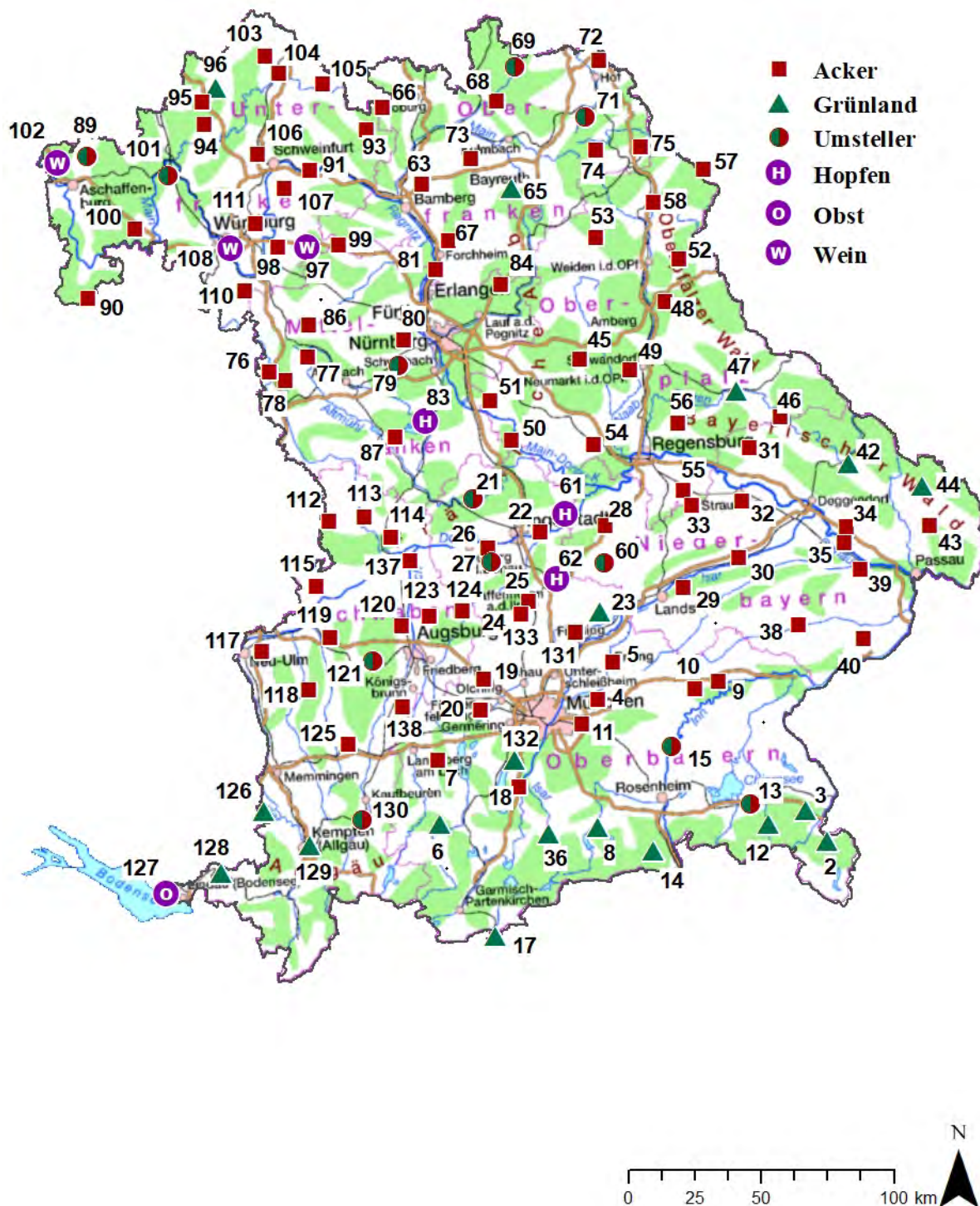


Abb. 95: BDF-Standorte, Stand 2018

Dank

Besonderer Dank geht an Dr. Harald Maier, dem Leiter der Agrarmeteorologischen Forschungs- und Beratungsstelle des DWD in Freising-Weihenstephan und an Dr. Walter Martin, dem stellvertr. Referatsleiter des Referats für Landesaufnahme Boden und Bodenschutz des Geologischen Dienstes am Landesamt für Umwelt in Augsburg für die fachliche Beratung und Unterstützung.

Geodaten und Datenbanken

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2020a: Umweltatlas Bayern, Geologische Raumgliederung, Stand 01.01.2020. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Augsburg.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2020b: Umweltatlas Bayern, Geologische Karte 1:500.000, Stand 01.01.2020. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Augsburg.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2020c: Umweltatlas Bayern, Übersichtsbodenkarte 1:25.000, Stand 01.01.2020. Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU). Augsburg.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2021a: InVeKoS-Daten zur Flächennutzung in Bayern von 1993 bis 2018. PostgreSQL Datenbank München.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2021b: InVeKoS-Daten zur Tierhaltung in Bayern von 1995 bis 2018. PostgreSQL Datenbank München.

Bayerische Vermessungsverwaltung (BVV), 2012: DGM 10 m. Digitales Geländemodell 10 m, Stand 2012. Rasterdaten. www.geodatenonline.bayern.de. München.

Bayerische Vermessungsverwaltung (BVV), 2021: Geobasisdaten und Topographische Karten. www.geodatenonline.bayern.de. München.

DAFA, 2015: Fachforum Grünland. Grünland innovativ nutzen und Ressourcen schützen. Forschungsstrategie der Deutschen Agrarforschungsallianz. 12/2015. Deutsche Agrarforschungsallianz (DAFA) c/o Thünen-Institut. Braunschweig.

Deutscher Wetterdienst (DWD), 2020a: DWD Climate Data Center (CDC), Jahresmittel der Raster der monatlich gemittelten Lufttemperatur (2m) für Deutschland, Version v1.0. ESRI-ASCII-Grid. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/. Offenbach.

Deutscher Wetterdienst (DWD), 2020b: DWD Climate Data Center (CDC), Jahressumme der Raster der monatlichen Niederschlagshöhe für Deutschland unter Berücksichtigung der Klimatologie, Version v1.0. ESRI-ASCII-Grid. https://opendata.dwd.de/climate_environment/CDC/grids_germany/. Offenbach.

European Commission, 2015: Nomenclature of Territorial Units for Statistics (NUTS) 2013 - Statistical Units - Data set. Eurostat/GISCO.

Literaturverzeichnis

Sponagel, H., Grottenthaler, W., Hartmann, K.-J., Hartwich, R., Janetzko, P., Joisten, H., Kühn, D., Sabel, K.-J., Traidl, R., 2005: Bodenkundliche Kartieranleitung. 5., verbesserte und erweiterte Auflage. Ad-hoc-Arbeitsgruppe Boden der Staatlichen Geologischen Dienste und der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nägele und Obermiller). Stuttgart.

Anderson, D., Burnham, K., 2004: Model selection and multi-model inference. Second. Springer-Verlag, 63(2020), 10. New York.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2017: Landwirtschaft im Klimawandel, Lösungen, die Geldsparen, 15. Kulturlandschaftstag. LfL-Schriftenreihe 2017 (5). Freising.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2021: Zahl der Öko-Betriebe in Bayern. <https://www.lfl.bayern.de/iem/oekolandbau/032791/index.php>. Oktober 2021.

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), 2022: Bioenergie Probenahme. LfL Zentrale Analytik. https://www.lfl.bayern.de/zentrale_analytik/180385/index.php. 03.03.2022.

Bayerisches Landesamt für Statistik und Datenverarbeitung (LfSD), 1987-1998: Statistisches Jahrbuch 1987-1998 für Bayern, (jährliche Ausgaben). München. <https://www.statistik.bayern.de/veroeffentlichungen/index.php>.

Bayerisches Landesamt für Steuern (LfSt), 2009: Merkblatt über den Aufbau der Bodenschätzung. www.finanzamt.bayern.de/Informationen/Steuerinfos/Weitere_Themen/Bodenschaeztung/Merkblatt-ueber-den-Aufbau-der-Bodenschaeztung.pdf. München.

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU), 2014: Beeinflusst der Klimawandel die Jahreszeiten in Bayern? Antworten der Phänologie. UmweltSpeziel. Mai 2014. Augsburg.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2000: Bayerischer Agrarbericht 2000. Referat Bayerische Agrarpolitik, Agrarstatistik und Wirtschaftsbeobachtung. München. <https://www.stmelf.bayern.de/mam/cms01/agrarpolitik/dateien/agrarbericht2000.pdf>.

Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), 2020: Bayerischer Agrarbericht 2020. <https://www.agrarbericht.bayern.de/landwirtschaft-laendliche-entwicklung/betriebsstrukturen.html>.

Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV), 2021: Klima-Report Bayern 2021. Klimawandel, Auswirkungen, Anpassungs- und Forschungsaktivitäten. www.klima.bayern.de. Appel & Klinger Druck und Medien GmbH, Schneckelohe.

Benjamini, Y., Hochberg, Y., 1995: Controlling the false discovery rate: a practical and powerful approach to multiple testing. *Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological)*, 57, 289–300.

Braun-Blanquet, J., 1964: Pflanzensoziologie. 3. Aufl. – Wien.

Capriel, P., Seiffert, D., 2011: 20 Jahre Bodendauerbeobachtung in Bayern – Teil 3: Entwicklung der Humusgehalte zwischen 1986 und 2007. *Schriftenreihe der LfL* (10). 1-46.

Dalhäuser, H., Diez, T., Fried, G., Müller, Ch., Schubert, A., 1990: Boden-Dauerbeobachtungsflächen in Bayern. Standortauswahl Einrichtung Probenahme Analytik. Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen (StMLU) und Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (StMELF), München.

Deutscher Bundestag, 10. Wahlperiode, 1985: Bodenschutzkonzeption der Bundesregierung. Drucksache 1985 (10/2977). Bonn.

Diepolder, M., 2006: Aspekte der Grünlandnutzung in Bayern. In: Rundgespräche der Kommission für Ökologie, Bd. 31 „Gräser und Grasland“, Verlag Dr. Friedrich Pfeil, München.

Doppler, G., Fiebig, M., Freudenberger, W., Glaser, S., Meyer, R., Pürner, T. et al., 2004: GeoBavaria 600 Millionen Jahre Bayern. Internationale Edition. Bayerisches Geologisches Landesamt (GLA). München.

Ellenberg, H., Weber, H.E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W. & Paulißen, D., 1991: Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. – Göttingen (Verlag Erich Goltze KG): 248 S.

Grueber, C. E., Nakagawa, S., Laws, R. J., Jamieson, I. G., 2011: Multimodel inference in ecology and evolution: challenges and solutions. *Journal of evolutionary biology*, 24(4), 699-711.

Halama, M., 2021: Karten zur Agrarstruktur: Anbau auf der Ackerfläche. Internes Dokument. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft. Freising.

Harrell, F. E., 2001: Regression modeling strategies: with applications to linear models, logistic regression, and survival analysis (Vol. 608). Springer-Verlag, New York.

Hartmann, St., Diepolder, M., Lichti, F., 2011: Grünland für die Biogasanlage. Bayern Biogasforum I - 12/2011, ALB Bayern e. V., Freising.

Holst, C., Cramon-Traubadel, S.V., 2014: Zur bisherigen Entwicklung der EU-Agrarpolitik. *Natur und Landschaft* 89.9/10, 2014. 422-424. Bundesamt für Naturschutz. Kohlhammer-Verlag. Stuttgart.

Krauss, M., Wiesmeier, M., Don, A., Cuperus, F., Gattinger, A., Gruber, S., Haagsma, W.K., Peigné, J., Chioldi Palazzoli, M., Schulz, F., van der Heijden, M.G.A., Vincent-Caboud, L., Wittwer, R.A., Zikeli, S., Steffens, M., 2022. Reduced tillage in organic farming affects soil organic carbon stocks in temperate Europe. *Soil and Tillage Research*, 216, 105262.

Landesvereinigung für den ökologischen Landbau in Bayern e.V. (LVÖ), 2021: Entwicklung des ökologischen Landbaus in Bayern von 1988 bis 2020. https://www.lvoe.de/fileadmin/Bio_in_Bayern/Entwicklung_OEkolandbau_Bayern_1988_bis_2020.pdf .

Moore, D. S., Notz, W. I, Flinger, M. A., 2013: The basic practice of statistics (6th ed.). New York, W. H. Freeman and Company, New York.

Moran, P. A. P: “Notes on Continuous Stochastic Phenomena.” *Biometrika*, vol. 37, no. 1/2, [Oxford University Press, Biometrika Trust], 1950: pp. 17–23, <https://doi.org/10.2307/2332142> .

Pike, N., 2011: Using false discovery rates for multiple comparisons in ecology and evolution. *Methods in ecology and Evolution*, 2(3), 278-282.

- Powlson, D.S., Riche, A.B., Coleman, K., Glendining, M.J., Whitmore, A.P., 2008: Carbon sequestration in European soils through straw incorporation: Limitations and alternatives. *Waste Management*, 28, 741–746.
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H-P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E. et al., 2010: *Lehrbuch der Bodenkunde*. 16. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag. Heidelberg.
- Van der Maarel, E., 2005: Vegetation ecology –an overview. - In: VAN DER MAAREL, E (Hrsg.): *Vegetation ecology*. – Oxford (Blackwell Science Ltd.): 1-51.
- VDI, 2012: VDI 4320 Blatt 2. Messung atmosphärischer Depositionen - Bestimmung des Staubniederschlags nach der Bergerhoff-Methode. VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss, Fachbereich Umweltmesstechnik.
- VELA, 2014: *Landwirtschaftlicher Pflanzenbau*. 13. Auflage. BLV Buchverlag. München.
- Wisskirchen, R. & Haeupler, H., 1998: *Standardliste der Farn- und Blütenpflanzen Deutschlands*. - Stuttgart (Ulmer-Verlag): 765 S.
- Wittmann, O., 1991: Standortkundliche Landschaftsgliederung von Bayern. Übersichtskarte 1:1.000.000. 2. erweiterte Auflage. Geologisches Landesamt Bayern (GLA). GLA Fachberichte, 5-1991. München.
- Zhang Y, Hedo R, Rivera A, et al.: Post hoc power analysis: is it an informative and meaningful analysis? *General Psychiatry* 2019; 32:e100069. doi: 10.1136/gpsych-2019-100069