



Hochschule Neubrandenburg
University of Applied Sciences

Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften

Fachgebiet Pflanzenproduktion

Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß

Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze

Bachelorarbeit

„Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Wasserhaushalt von Böden“

**- Analyse zum Wasserverbrauch ausgewählter Zwischenfrüchte am
Beispiel der Standorte Hildesheimer Börde, Magdeburger Börde und
Lüchow-Dannenberg -**

von

Kathrin Ladwig

Charlotte Henze

urn:nbn:de:gbv:519-thesis2008-0311-3

September 2008

Danksagung

Die vorliegende Bachelorarbeit ist an der Hochschule Neubrandenburg, Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften entstanden. Eine Vielzahl von Personen hat zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen, bei denen wir uns an dieser Stelle herzlich bedanken möchten.

Während der Bearbeitung des Themas war die Zusammenarbeit mit vielen Institutionen und Personen innerhalb aber auch außerhalb der Hochschule erforderlich. Zunächst möchten wir unseren Dank an Herrn Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß und Dipl.-Ing. agr. Bernd Schulze aussprechen, die uns mit Rat und Tat stets hilfsbereit bei der Verwirklichung dieser Bachelorarbeit zur Seite standen.

Weiterhin danken wir dem Deutschen Wetterdienst, der uns die benötigten klimatischen Erhebungsdaten für unsere Untersuchungen bereitgestellt hat. Auch dem Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Niedersachsen und dem Landesamt für Geologie und Bergwesen in Sachsen-Anhalt (LAGB) ist unser Dank auszusprechen. Sie haben bodenkundliche und hydrologische Daten zur Verfügung gestellt. In diesem Zusammenhang danken wir insbesondere Herrn Dr. Müller und Frau Ostmann (LBEG) sowie Herrn Helbig (LAGB), die auch telefonische Anfragen hilfsbereit entgegengenommen haben.

Unser Dank gebührt all jenen, die uns mit wertvollen Hinweisen und der Bereitschaft, die Mühe des Korrekturlesens auf sich zu nehmen, zur Verfügung standen.

Schließlich soll ein großer Dank an unsere Familien und Freunde gerichtet sein, die uns während der gesamten Studienzeit mit großem Rückhalt unterstützt haben.

Ihnen sei diese Bachelorarbeit gewidmet.

Neubrandenburg, im September 2008

Charlotte Henze
und
Kathrin Ladwig

Inhaltsverzeichnis

I	Abbildungsverzeichnis	
II	Tabellenverzeichnis	
III	Formelverzeichnis	
IV	Abkürzungsverzeichnis	
1.	Einleitung	10
1.1.	Vorwort.....	10
1.2.	Problemstellung.....	11
1.3.	Zielsetzung.....	12
1.4.	Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise.....	13
2.	Boden und Bodenwasser	16
2.1.	Boden.....	16
2.2.	Das Bodenwasser.....	19
3.	Zwischenfrüchte	23
3.1.	Bedeutung von Zwischenfrüchten.....	25
3.2.	Ansaatverfahren und Anbauformen.....	29
3.2.1	Sommerzwischenfruchtanbau.....	30
3.2.2	Winterzwischenfruchtanbau.....	31
3.3.	Artenbeschreibung ausgewählter Zwischenfrüchte.....	33
3.3.1	Phacelia (Phacelia tanacetifolia Benth.).....	33
3.3.2	Klee (Trifolium L.).....	35
3.3.3	Rübsen (Brassica rapa L. emend.).....	40
4.	Standortbeschreibung ausgewählter Regionen	42
4.1.	Standortbeschreibung – Hildesheimer Börde -.....	44
4.2.	Standortbeschreibung - Magdeburger Börde -.....	54
4.3.	Standortbeschreibung - Lüchow-Dannenberg (Elbe) -.....	61

5. Untersuchungen (Material und Methoden): Wasserverbrauch ausgewählter Zwischenfrüchte unter mehrjähriger Betrachtung.....	68
5.1. Hintergrund und Erläuterungen zu den Untersuchungen	71
5.2. Untersuchungsteil 1: Wasserbilanzen für die Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklees und Winterrüben	76
5.3. Untersuchungsteil 2: Bodenwassergehalte während einer Fruchtfolge.....	94
6. Schlussbetrachtung/ Diskussion	107
6.1. Auswertung des 1. Untersuchungsteils (Wasserbilanzen).....	107
6.2. Auswertung des 2. Untersuchungsteils (Bodenwasserhaushaltsrechnung).....	116
6.3. kritische Stellungnahme	125
7. Alternative und Empfehlungen zum/im Zwischenfruchtanbau	128
8. Zusammenfassung.....	132
Literaturverzeichnis.....	135
Internetquellen	137
Abbildungsquellen.....	140
Anhang I.....	143
Anhang II	179

I ***Abbildungsverzeichnis***

Abbildung 1: Flussdiagramm zum Aufbau der Bachelorarbeit	15
Abbildung 2: Zusammensetzung des Bodens, 1995	16
Abbildung 3: Bodenartendiagramm der Bodenartengruppen des Feinbodens nach KA4, 2008	17
Abbildung 4: Bodenprofil mit Horizonten, 2008	18
Abbildung 5: Verteilung von Niederschlägen und Bodenwasser, 2008	19
Abbildung 6: Wasserspannungskurven eines Sandbodens (S), Schlufflehm (uL) und Tonbodens (T), 1996	21
Abbildung 7: Phacelia begrünter Acker, 2008	33
Abbildung 8: Blütenstand einer Phaceliapflanze, 2008	33
Abbildung 9: Weißklee, 2008	36
Abbildung 10: Rotklee, 2008	36
Abbildung 11: Alexandriner Klee, 1991	37
Abbildung 12: Perserklee, 2004	37
Abbildung 13: Inkarnatklee, 2008.....	38
Abbildung 14: Inkarnatklee, 2007.....	38
Abbildung 15: Winterrüben, 2008.....	40
Abbildung 16: Lössakkumulation, 2004	43
Abbildung 17: Wappen Niedersachsen, 2008	44
Abbildung 18: Übersichtskarte der Landkreise Niedersachsen, 2008	44
Abbildung 20: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Hildesheim (2007).....	46
Abbildung 19: Ausschnitt der Bodengroßlandschaften Niedersachsens, 2008.....	45
Abbildung 21: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Hildesheim (2007).....	46
Abbildung 22: Bodenprofil einer Braunerde (Cambisol), 2008.....	49
Abbildung 23: Bodenprofil einer Parabraunerde (Luvisol), 2008	50
Abbildung 24: Bodenprofil eines Pseudogleys (Stagnic Luvisol), 2008	52
Abbildung 25: Wappen Sachsen-Anhalt, 2008	54
Abbildung 26: Übersichtskarte der Landkreise Sachsen-Anhalts, 2008.....	54
Abbildung 27: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Börde (2007).....	55
Abbildung 28: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Börde (2007).....	56
Abbildung 29: Bodenkarte für die Magdeburger Börde, 2008	58

Abbildung 30: Bodenprofil des	59
Abbildung 31: Profilansicht Schwarzerde, 2008.....	60
Abbildung 32: Deutschlandkarte mit Markierung Lüchow-Dannenberg, 2008.....	61
Abbildung 33: Ausschnitt der Bodengroßlandschaften im Nordosten Niedersachsens.....	62
Abbildung 34: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007) ..	63
Abbildung 35: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007)	64
Abbildung 36: Profil eines Gleybodens (Gleysol), 2004	67
Abbildung 37: Profil eines Podsol (Podzol), 2008.....	68
Abbildung 38: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Hildesheim	80
Abbildung 39: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Magdeburg	81
Abbildung 40: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Dannenberg	82
Abbildung 41: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Hildesheim	83
Abbildung 42: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Magdeburg	84
Abbildung 43: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Dannenberg	85
Abbildung 44: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Hildesheim.....	86
Abbildung 45: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Magdeburg.....	87
Abbildung 46: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Dannenberg.....	88
Abbildung 47: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Hildesheim	89
Abbildung 48: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Magdeburg	90
Abbildung 49: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Dannenberg	91

Abbildung 50: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Hildesheim (2000 – 2007)	92
Abbildung 51: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Magdeburg (2000 – 2007)	93
Abbildung 52: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Lenzen (2000 – 2007)	93
Abbildung 53: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Hildesheim)	99
Abbildung 54: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Hildesheim)	99
Abbildung 55: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Hildesheim)	101
Abbildung 56: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Hildesheim)	101
Abbildung 57: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Magdeburg)	102
Abbildung 58: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Magdeburg)	102
Abbildung 59: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Magdeburg)	103
Abbildung 60: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Magdeburg)	103
Abbildung 61: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Dannenberg)	104
Abbildung 62: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Dannenberg)	105
Abbildung 63: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Dannenberg)	106
Abbildung 64: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Dannenberg)	106
Abbildung 65: Aufteilung der Evapotranspiration in die Teilkomponenten Evaporation und Transpiration in Abhängigkeit von der Entwicklung des Bestandes	109

II Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Wasserabfluss und Bodenabtrag bei Maisanbau mit und ohne Zwischenfrüchte in Hanglage (Datenerhebung von 1986), 2001,.....	26
Tabelle 2: Ertragsleistung von Zwischenfrüchten und Nitratgehalt des Bodens bei Vegetationsruhe im Spätherbst, 2001.....	28
Tabelle 3: Übersicht der wichtigsten Zwischenfrüchte (2001/2004).....	32
Tabelle 4: Getreideanbau im Landkreis Hildesheim (2007).....	47
Tabelle 5: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Hildesheim (2007).....	47
Tabelle 6: Nutztierhaltung im Landkreis Hildesheim (2007).....	48
Tabelle 7: Getreideanbau im Landkreis Börde (2007).....	56
Tabelle 8: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Börde (2007).....	57
Tabelle 9: Nutztierhaltung im Landkreis Börde (2007).....	57
Tabelle 10: Getreideanbau im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007).....	64
Tabelle 11: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007).....	65
Tabelle 12: Nutztierhaltung in der Region Lüchow-Dannenberg (2007).....	65
Tabelle 13: Kennwertklassifizierung der nFKWe, 2008.....	76
Tabelle 14: Übersicht zu den Transpirationswerten der Kulturen.....	78
Tabelle 15: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Hildesheim.....	80
Tabelle 16: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Magdeburg.....	81
Tabelle 17: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Dannenberg.....	82
Tabelle 18: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Hildesheim.....	83
Tabelle 19: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Magdeburg.....	84
Tabelle 20: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Dannenberg.....	85
Tabelle 21: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Hildesheim.....	86
Tabelle 22: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Magdeburg.....	87
Tabelle 23: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Dannenberg.....	88

Tabelle 24: Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Hildesheim.....	89
Tabelle 25: Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Magdeburg.....	90
Tabelle 26: Wasserbilanz der Winterrübsen für die Region Dannenberg.....	91
Tabelle 27: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Hildesheim)	102
Tabelle 28: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Magdeburg)	104
Tabelle 29: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Dannenberg)	107
Tabelle 30: Mindestniederschlagsmengen zur Deckung des Wasserbedarfs der Pflanzen....	116

III Formelverzeichnis

Formel 1: Berechnung des Wasserverbrauchs des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht während der Vegetationsperiode	77
Formel 2: Berechnung des Wasserverbrauchs des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht während der Vegetationsperiode	78
Formel 3: Berechnung des Wasserverbrauchs des Phacelias während der Vegetationsperiode	78
Formel 4: Berechnung des Wasserverbrauchs der Winterrüben während der Vegetationsperiode	78
Formel 5: Evaporation im Sommer	79
Formel 6: Evaporation im Winter	79
Formel 7: Berechnung des Wasserverbrauchs von Winterweizen in der Vegetationsperiode.	95

IV Abkürzungsverzeichnis

dt	Dezitonne
DWD	Deutscher Wetterdienst
ET	Evapotranspiration
E.pot	potenzielle Evapotranspiration
E.akt	aktuelle Evapotranspiration
FK	Feldkapazität
ha	Hektar (=10.000m ²)
kg/ha	Kilogramm je Hektar
l/m ²	Liter je Quadratmeter
LAGB	Landesamt für Geologie und Bergwesen
LBEG	Landesamt für Bergbau Energie und Geologie
µm	Mikrometer
nFK	nutzbare Feldkapazität
nFKWe	nutzbare Feldkapazität im effektiven Wurzelraum
NN	normal Null
Pf-Kurve	Wasserspannungskurve
PWP	Permanenter Welkepunkt
TK	Tanspirationskoeffizient
TKG	Tausend Korngewicht
TM	Trockenmasse
Vol. %	Volumenprozent

1. Einleitung

1.1. Vorwort

Die Landwirtschaft kann volkswirtschaftlich als Primärsektor betrachtet werden. Sie trägt die nachhaltige Aufgabe, weltweit eine Nahrungsversorgung sicherzustellen und rückt somit in den Mittelpunkt als wichtige Lebensgrundlage für die Menschheit. Die Landbewirtschaftung darf aber nicht isoliert betrachtet werden. Sie steht vielmehr in einer engen Beziehung zu Umwelt und Natur und ist diesbezüglich ein bedeutsames Thema in der Diskussion um die Wahrung ökologischer Ressourcen.

Ohne das Ökosystem Boden wäre die Landwirtschaft nicht denkbar. Boden ist der Lebensraum verschiedenster wertvoller Organismen und Tiere, Fundament des Pflanzenwachstums, natürlicher Filter sowie Steuereinheit für Wasser- und zahlreiche Stoffkreisläufe. Boden und auch Wasser stellen also eine zentrale Grundlage allen Lebens dar. Es ist in diesem Zusammenhang Pflicht jedes einzelnen Bewohners dieser Erde und vor allem der Landwirtschaft, diese Ressourcen durch pflegsamem und umweltgerechten Umgang vor schädlichem Einfluss zu schützen und sie zu erhalten.

Der Ökologische Landbau hat sich diese Herausforderung zur Aufgabe gemacht, indem unter Berücksichtigung des Umweltschutzes naturschonende Bewirtschaftungsmethoden zum Einsatz kommen. Der Zwischenfruchtanbau stellt eine dieser Methoden dar, die zur Bewahrung der Produktivität und der natürlichen Beschaffenheit des Bodens dienen.

Im integrierten und auch sogar im konventionellen Anbau, der eine effiziente Lebensmittelproduktion unter Einsatz jeglicher technischer und chemischer Errungenschaften vornimmt, gehört der Zwischenfruchtanbau auch schon zur angewandten Praxis.

Die LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG –VORPOMMERN (2001) hat festgestellt, dass in den 90iger Jahren der Zwischenfruchtanbau, welcher zu der Zeit primär der Futtergewinnung diente, aufgrund sinkender Tierbestände an Bedeutung verloren hat. Diese Entwicklung war hauptsächlich in ostdeutschen Regionen zu beobachten. Aus oben genannten Gründen dringt der Zwischenfruchtanbau in ganz Deutschland jedoch wieder in den Vordergrund und wird in einigen Bundesländern im Rahmen von Agrar-Umweltprogrammen finanziell gefördert. Auch in EU-rechtlichen Maßgaben, wie der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL), wird der Zwischenfrucht-

anbau als eine Option zur Erreichung des „guten Zustandes“ der Gewässer genannt (FOCK, 2007).

In Grundwasserschutzgebieten wird den Landwirten über so genannte „Freiwillige Vereinbarungen“ angeboten, den Zwischenfruchtanbau als einen Baustein der grundwasserschonenden Bewirtschaftung wahrzunehmen. Als Gegenleistung erhalten die Landwirte eine finanzielle Entschädigung für den entstandenen Mehraufwand. Denn ein vielfach auftretendes Argument im Zwischenfruchtanbau sind die arbeits- und kostentechnischen Zusatzbelastungen. Im Grundwasserschutz kommen Zwischenfrüchte hauptsächlich zur Stickstofffixierung zum Einsatz, um die Nitrateinwaschung ins Grundwasser zu minimieren und gebundenen Stickstoff für die Nutzpflanzen zur Verfügung zu stellen.

Neben diesem positiven Effekt gehen noch viele weitere vorteilhafte Erkenntnisse des Zwischenfruchtanbaus aus diversen wissenschaftlichen Studien hervor. Der Sommer- und Winterzwischenfruchtanbau sorgt fast ganzjährig mit seiner bedeckenden Pflanzendecke für Schutz vor Wasser- und Winderosion. Nach Einarbeitung abgestorbener organischer Pflanzensubstanz kann diese den Boden mit Nährstoffen anreichern und sorgt für eine gute Gare. Auf diese Weise können die biologische Aktivität und Leistungsfähigkeit der Böden, die als Produktionsgrundlage in der Landwirtschaft eine wichtige Rolle spielen, auch noch in Zukunft erhalten bleiben. Somit ist ein Beitrag zur Sicherung der ökologischen Lebensgrundlage getätigt.

1.2. Problemstellung

Nach Cross Compliance müssen mindestens 40% der Ackerfläche in der Zeit vom 1. Dezember bis 15. Februar mit Pflanzen oder Pflanzenresten bedeckt sein, um Direktzahlungen zu erhalten (CROSS COMPLIANCE, 2007). Zwischenfrüchte stellen somit eine gute Alternative dar, um diese Anforderung zu erfüllen. Des Weiteren fordert auch die Düngeverordnung einen Zwischenfruchtanbau. Deshalb ist es für viele Landwirte wichtig zu wissen, welche Vorteile Zwischenfrüchte mit sich bringen, aber auch welche Nachteile diese haben.

In den letzten Jahren wurden aufgrund des immer höher werdenden Stickstoffpreises, durch steigende Ölpreise, viele Diskussionen über Zwischenfrüchte im Bezug auf die Stickstoffanreicherung im Boden geführt (KAHNT, 2008). Die Fragestellung ist herauszufinden, wie viel

Stickstoffdüngung in der Folgekultur einspart werden kann und wie hoch die Humusbildung ausfällt. Zwischenfrüchte, zu denen auch Leguminosearten gehören, haben die Eigenschaft, mit Hilfe der Knöllchenbakterien (Rhizobien) an den Wurzeln Stickstoff aus der Luft zu binden und im Boden zu speichern. Somit weisen Zwischenfrüchte viele Vorteile für den Landwirt auf, um in der Folgekultur eine gute Ernte zu erhalten.

Zur Abstimmung müssen aber auch die Nachteile herangezogen werden, besonders im Zuge der sich global verändernden klimatischen Bedingungen in Sommer- und Winterzeit. In dem Zusammenhang stehen Zwischenfrüchte in einer ständig fortwährenden Diskussion um den Wasserverbrauch. In der klimatologischen Forschung ist die Rede von einer veränderten Verteilung der Niederschlagsmenge und es kommt besonders im Sommer häufiger zu Extremniederschlagsereignissen. Auf lange Sicht gesehen sollen insgesamt aber im Winter mehr Niederschläge fallen und das Frühjahr soll durch Trockenheitsperioden (Frühsommertrockenheit) gekennzeichnet sein (GERMANWATCH, 2007). Das führt somit auch zu einer veränderten Nährstoffmobilität im Boden. Deshalb sollte in Zukunft darauf geachtet werden, dass Zwischenfrüchte keinen Wassermangel bei der Folgekultur hervorrufen und somit Mindererträge auslösen. Die LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (2001) äußert sich zum Thema „Klimawandel“ insofern, als dass die „Risiken größer werden, da die Wasserverfügbarkeit in Bezug auf das Pflanzenwachstum der begrenzende Faktor ist“.

1.3. Zielsetzung

Bei der vorliegenden Bachelorarbeit handelt es sich um eine Erhebungsarbeit mit dem Thema: „Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Wasserhaushalt von Böden“. Die gegensätzlichen Meinungen in der Literatur und Praxis über den Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten, haben uns zu einer genaueren Auseinandersetzung mit dieser Thematik bewegt.

In diesem Zusammenhang, soll am Beispiel der Bundesländer Sachsen-Anhalt und Niedersachsen anhand von Klimadaten, hydrologischen und bodenkundlichen Daten eines Referenzzeitraumes von acht Jahren (2000 – 2008) herausgefunden werden, wie sich die Wasserhaltung von Zwischenfrüchten gestaltet und wie lohnenswert ihr Anbau ist. Diesbezüglich sollen Auswirkungen auf die Nachfolgekultur untersucht werden und auch die Schwarzbrache als Alternative zur Zwischenbegrünung genauer beleuchtet werden. Es soll ebenfalls ermittelt

werden, inwiefern sich Klimaveränderungen abzeichnen und welchen Einfluss diese auf die Anbaubedingungen von Zwischenfrüchten haben.

Wie zuvor schon einmal erwähnt, gibt es die Möglichkeit des Sommer- und Winterzwischenfruchtanbaus. In dieser Arbeit soll anhand der ausgewählten Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarntklee und den Winterrüben, die im Zwischenfruchtanbau einen hohen Stellenwert einnehmen, auf beide Anbauformen eingegangen werden. Für die Untersuchung werden Hildesheim und Magdeburg als Bördenstandorte, sowie Dannenberg stellvertretend für leichte Anbaustandorte herangezogen.

Als Leitfaden sollen einige Fragestellungen dienen, die in der Bachelorarbeit erörtert und somit beantwortet werden:

- Wie viel Wasser verbraucht eine Sommer- und Winterzwischenfrucht während ihrer Vegetationsperiode, bzw. welche Niederschlagsmengen müssen im Durchschnitt fallen, damit sich ein Zwischenfruchtanbau lohnt?
- Wie hoch sind die Wassergehalte im Boden bezogen auf eine Fruchtfolge wenn,
 1. eine Zwischenfrucht angebaut wird?
 2. die Fläche brach liegt?
- Wie viel Wasser steht in einer Fruchtfolge mit integrierter Zwischenfrucht noch für die Hauptkultur im Frühjahr zur Verfügung?
- In wie fern muss die Bodenqualität beim Anbau von Zwischenfrüchten berücksichtigt werden?
- Wie sehen Empfehlungen und Alternativen im/zum Zwischenfruchtanbau aus?

1.4. Aufbau der Arbeit und Vorgehensweise

Beginnend mit der Einleitung, die sich in drei Unterkapitel dem **Vorwort (1.1)**, der **Problemstellung (1.2)** und der **Zielsetzung (1.3)** untergliedert, soll eine Hinleitung auf das Thema der vorliegenden Bachelorarbeit erfolgen. Dabei wird in der Zielsetzung bereits grob auf die Inhalte der Arbeit eingegangen.

Zum Literaturteil gehören die drei Kapitel **Boden und Bodenwasser (Kapitel 2)**, **Zwischenfrüchte (Kapitel 3)** und die **Standortbeschreibungen (Kapitel 4)** der zu untersuchenden Regionen **Hildesheim, Magdeburg** und **Lüchow-Dannenberg**.

Es wird beschreibend auf das Medium Boden und Komponenten des Wasserhaushaltes eingegangen. Weiterhin wird Wissenswertes über den Zwischenfruchtanbau seiner Vor- und Nachteile vermittelt, welches in einer Artenbeschreibung der drei Zwischenfrüchte endet, die im Hauptteil näher beleuchtet werden. Die Standortbeschreibungen geben neben landwirtschaftlichen Nutzungsverhältnissen hauptsächlich Auskunft über die in der Region vorkommenden Böden. Diese sind u.a. wichtiger Gegenstand für die nachfolgenden Untersuchungen.

Die drei Kapitel sind in etwa gleichbedeutend und deshalb im Flussdiagramm auf einer Ebene aufgeführt. Sie stellen die Basis für den **Untersuchungsteil (Kapitel 5)** zum Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte, welcher den Hauptteil der vorliegenden Arbeit ausmacht.

Die Analyse ist zweigeteilt. Der Fokus der ersten Untersuchung liegt darauf, unter Einbezug des Witterungsfaktors „Niederschläge“ den Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte während ihrer Vegetation zu erfassen. Es werden Wasserbilanzen erstellt.

Im zweiten Teil wird der Faktor Boden miteinbezogen, indem unter Verwendung der nutzbaren Feldkapazität (nFK) der Standortböden die Entwicklung der Bodenwassergehalte während einer Fruchtfolgeanalyse ermittelt wird. Auch hier liegt der Faktor Niederschlag als Analysemittel zu Grunde.

Die Auswertung und Deutung der Ergebnisse der Untersuchungen erfolgt im Teil der **Schlussbetrachtung und Diskussion (Kapitel 6)**.

Anschließend sollen in einer **Kritischen Stellungnahme (6.3)**, die Vorgehensweisen und die Resultate der Arbeit hinterfragt werden.

Welche **Empfehlungen** in der Praxis für den Zwischenfruchtanbau gegeben werden und welche **Alternativen** es gibt, soll in **Kapitel 7** hervorgehoben werden.

Schlussendlich wird in einer **Zusammenfassung (Kapitel 8)** noch einmal auf die Inhalte und wichtigsten Ergebnisse der Bachelorarbeit eingegangen.

Die nachfolgende Abbildung stellt den Aufbau der Bachelorarbeit bildlich dar.

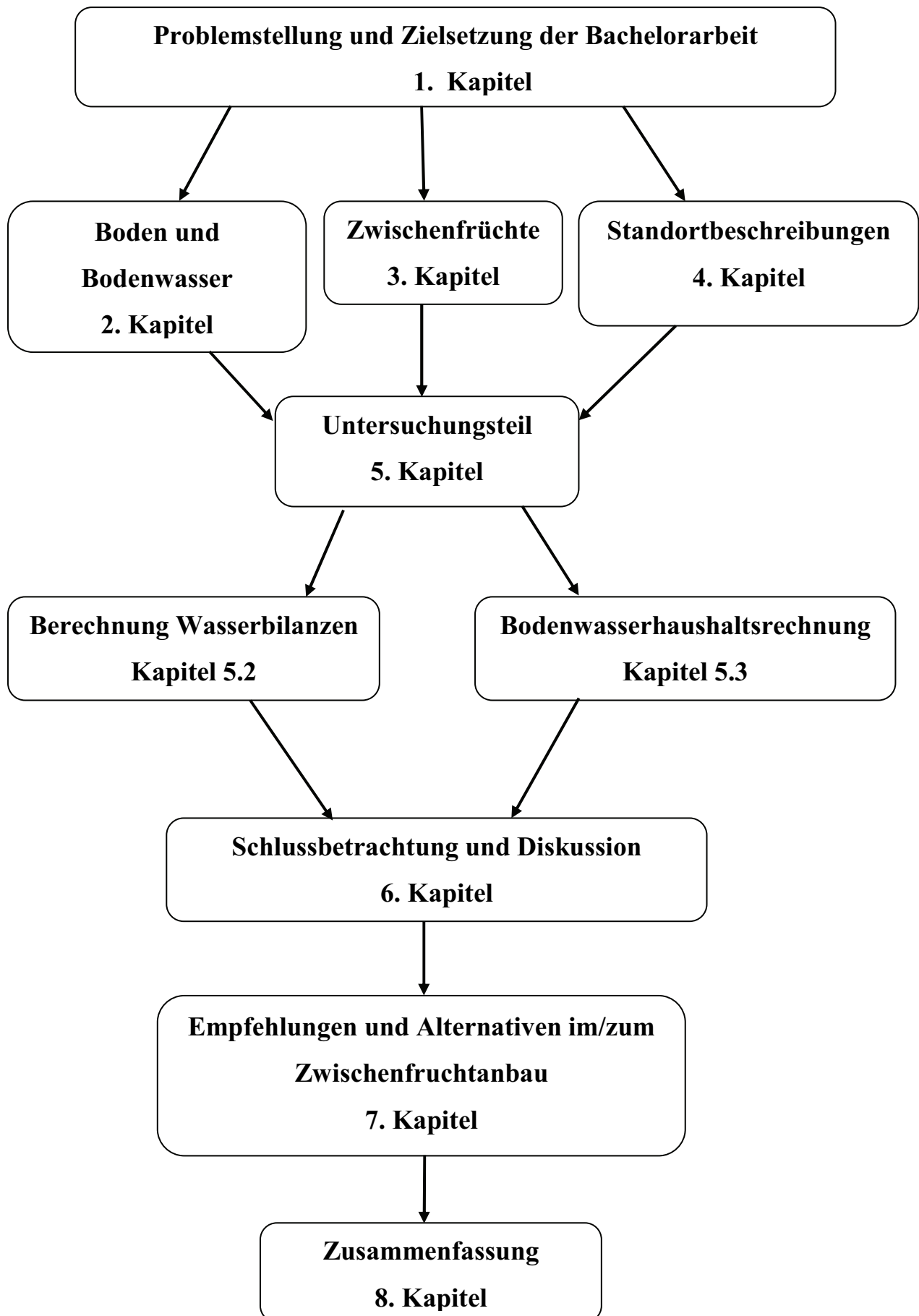


Abbildung 1: Flussdiagramm zum Aufbau der Bachelorarbeit

2. Boden und Bodenwasser

Wie viel Wasser einer Pflanze zur Verfügung steht, ist abhängig von vielen Faktoren. Neben den Niederschlägen und der Sonneneinstrahlung hat auch der Boden einen großen Einfluss auf das für die Pflanze verfügbare Wasser. Im folgenden Text sollen zunächst allgemein gültige Aussagen über das Medium Boden herausgestellt werden. Denn der Aufbau von Böden und daraus hervorgehende Eigenschaften geben auch Aufschluss über ihre Fähigkeit zur Wasserspeicherung. Dieses spiegelt sich im Abschnitt „Bodenwasser“ wieder.

2.1. Boden

Boden (Ackerboden) kann als ein komplexes System betrachtet werden und besteht in den oberen 10-15 cm aus den folgenden Hauptkomponenten:

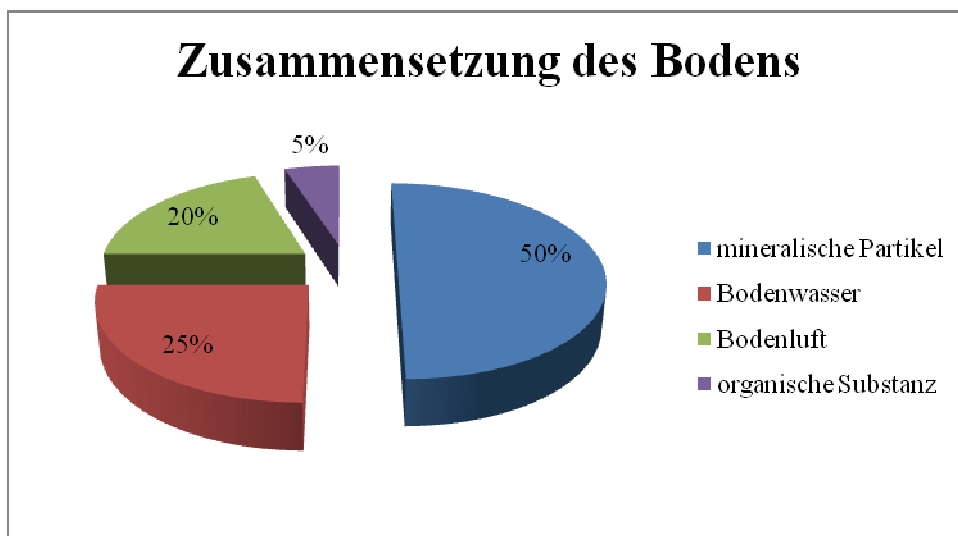


Abbildung 2: Zusammensetzung des Bodens, 1995

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach WILD

Die Entstehung unserer heutigen Böden ist ein Resultat verschiedenster Verwitterungsprozesse von ursprünglichem Fels- und Gesteinsmaterial. Boden kann demnach einfach formuliert als gemahlenes Gesteinsmaterial (Steinmehl) bezeichnet werden.

Zur Beurteilung des Bodenwassergehaltes ist es wichtig, diese mineralische Festsubstanz, welche den Boden in **Arten** und **Typen** untergliedert, zu betrachten. Denn vom Korn- und Porenvolumen der mineralischen Substanz ist es abhängig, wie viel Wasser ein Boden speichern und für die Pflanzen bereitstellen kann.

Es lassen sich die vier Kornfraktionen oder auch Hauptbodenarten Sand (S), Schluff (U), Lehm (L) und Ton (T) unterscheiden, die alle eine unterschiedliche Körnung aufweisen und deren Bodenwasser-, Luft- und Nährstoffhaushalt somit variiert. Auch die Anordnung von Mineralpartikeln, also das Bodengefüge (Einzelkorn-, Kohärent- und Aggregatgefüge) spielen eine wichtige Rolle, besonders für chemische und physikalische Vorgänge im Boden. Das folgende Dreieckskoordinatensystem zeigt die Bodenarten des Feinbodens auf, die sich je nach Anteil von Ton, Schluff und Sand ergeben.

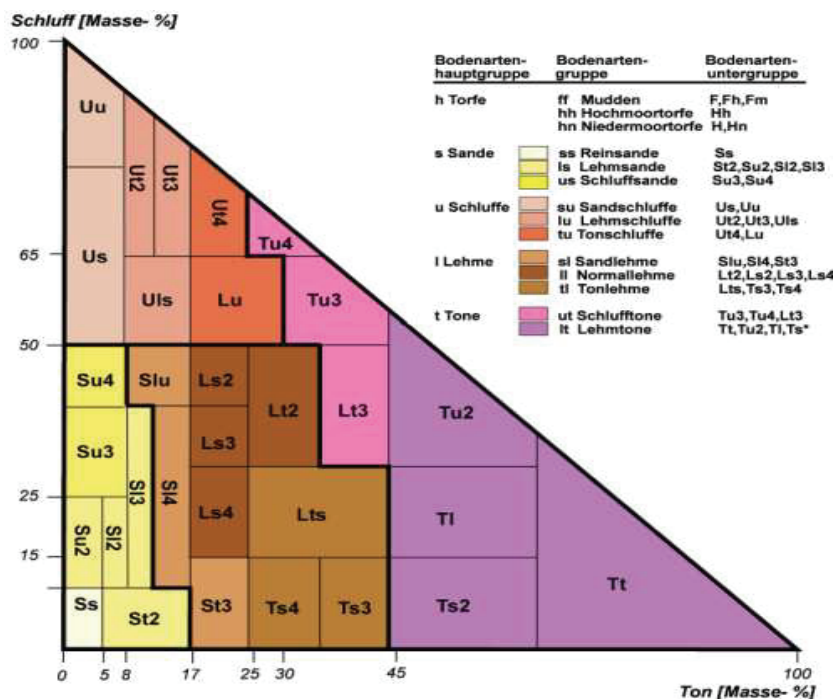


Abbildung 3: Bodenartendiagramm der Bodenartengruppen des Feinbodens nach KA4, 2008

Quelle: LBEG (c)

Bei der Bodenentstehung durch Verwitterung treten unterschiedliche Schichtungen auf, die als Horizonte bezeichnet werden, und sich in ihrer Ausprägung und Abfolge unterscheiden.

Diese Haupthorizonte werden jeweils mit einem Großbuchstaben gekennzeichnet:

L = Streu

O = organische Bodenauflage (meist Humus) über dem Mineralboden. Entsteht durch eingeschränkten Streuabbau durch Bodenorganismen (bei Luft- und Nährstoffmangel). Je nach Bodentyp sind unterschiedliche Schichtdicken zu finden.

A = mineralischer Oberboden, reich an organischer Substanz und/oder bleich wegen mangelnder mineralischer Substanz

B = mineralischer Unterboden

- C** = Ausgangsgestein des Bodens
 - G** = durch Grundwasser geprägter Bodenteil
 - S** = durch Stauwasser beeinflusster Bodenteil
 - E** = ausgewaschener Horizont
 - R** = anthropogen entstandener Mischhorizont
- (SEIDEL, 2003)

Eine weitere Differenzierung erfolgt durch Zahlen oder Buchstabenindizes.

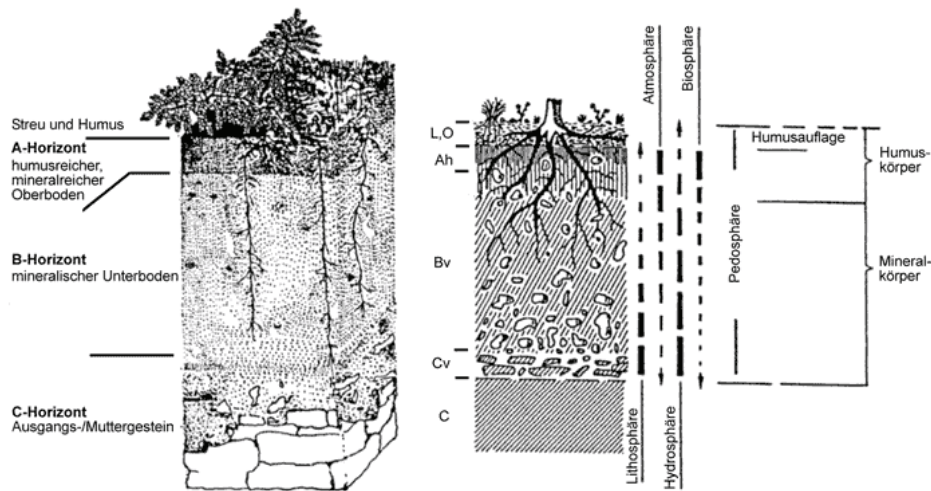


Abbildung 4: Bodenprofil mit Horizonten, 2008

Quelle: UNI MÜNSTER (a)

Die Aufeinanderfolge der Horizonte in einem Boden wird als Profil bezeichnet. Böden, die sich in diesem Profil ähneln, sind auf einen gleichsamem Entwicklungszustand zurückzuführen und werden demgemäß zu einem Bodentyp zusammengefasst. Beispiele sind Parabraun-erden, die durch Verbraunung und Podsole, die durch Podsolierung entstanden sind. Bodentypen können weiterhin einzelnen Bodenklassen zugeordnet werden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 1979/2002; KELLER et al., 1997).

2.2. Das Bodenwasser

Das Bodenwasser trägt eine bedeutungsvolle Rolle für Wachstum und Entwicklung von Pflanzen, da diese flüssige Phase u.a. für den Transport von Mineralien und Nährstoffen verantwortlich ist. Der Wasserhaushalt des Bodens setzt sich aus vielen Komponenten zusammen.

Die Abbildung 5 gibt einen vereinfachten Überblick auf den Wasserkreislauf:

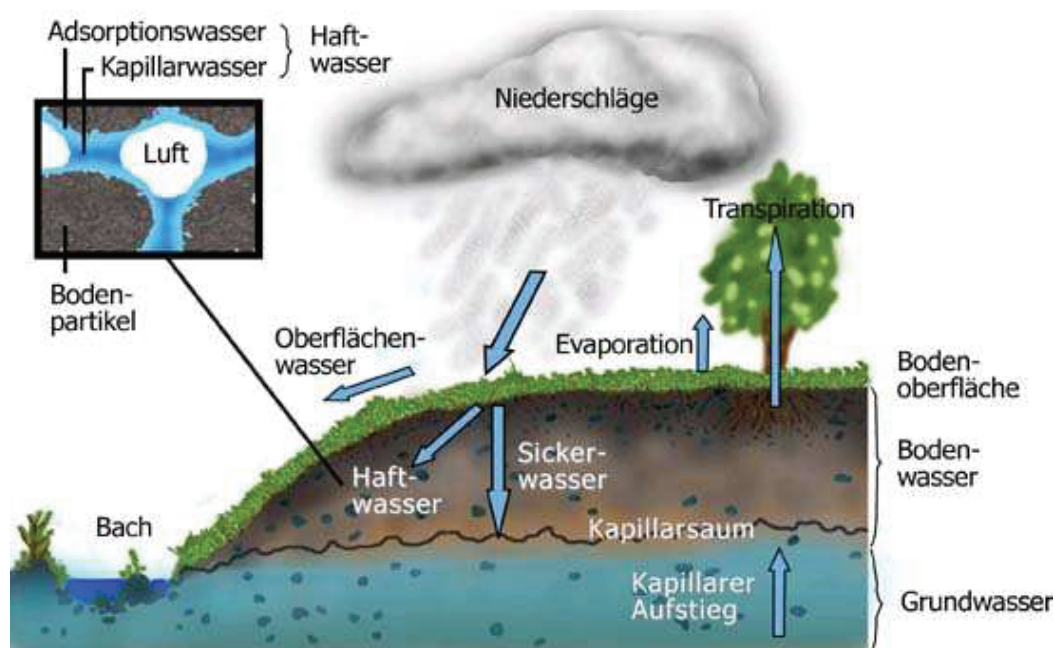


Abbildung 5: Verteilung von Niederschlägen und Bodenwasser, 2008

Quelle: UNI MÜNSTER (b)

Durch **Niederschläge** (fest oder flüssig), **atmosphärische Kondensation** und **künstliche Bewässerung** (anthropogener Einfluss) werden im Wesentlichen die Gehalte an Wasser bestimmt, die in den Boden gelangen. Wasser, das nicht vom Boden aufgenommen wird und somit oberflächlich abfließt, wird als **Oberflächenwasser** bezeichnet. Der Anteil an Oberflächenwasser ist von der Stärke der Hangneigung, der Intensität der Niederschläge und der Bodenart abhängig. In ton- und schluffreichen Böden, die eine sehr dichte Partikellagerung aufweisen, kann das Wasser nicht so gut und zügig eindringen, wie z.B. in einen Sandboden. Ist ein Boden wassergesättigt, d.h. das gesamte Porenvolumen ist wassererfüllt, tritt ebenfalls als Folge Oberflächenabfluss ein.

Das Wasser, welches in den Boden eindringt, steht jedoch auch nicht vollständig den Pflanzen zur Verfügung. Wasser kann in den Grobporen eines Bodens nicht gut gebunden werden. Es verdrängt gebundenes Wasser und bildet somit das so genannte **Sickerwasser**, welches mit der Schwerkraft weiter in tiefere Bodenebenen gelangt. Das sickende Wasser bildet in Folge das **Grund- und Stauwasser**.

Grundwasser ist das ganze Jahr vorhanden. Stauwasser dagegen entsteht, wenn die Partikel des Bodens oder einzelner Horizonte so dicht gelagert sind, dass keine Grobporen vorhanden sind und somit das Wasser gestaut wird. Stauwasser tritt aber auch nur zu bestimmten Jahreszeiten, meist im Frühjahr, auf. Es können grundwassernahe und -ferne Böden unterschieden werden. In erst genannten kann das Grundwasser durch kapillaren Aufstieg zur Ergänzung des Bodenwassers beitragen.

Das Wasser, welches im Boden v.a. in Mittel- und Feinporen gegen die Schwerkraft gehalten werden kann, nennt sich **Haftwasser**. Es wird untergliedert in **Adsorptions- und Kapillarwasser** (s. Abbildung 5). In diesem Zusammenhang spielen das Ausmaß der Bindungskräfte der Bodenpartikel, das Quellvermögen der Tonminerale und die allgemeine Bodenkörnung (Porengrößenverteilung) eine große Rolle, was bodenartspezifisch differenziert ist. Zum Beispiel hat Sand ein relativ geringes Quellungsvermögen und sein grobkörniges Gefüge weist ein nur geringes Haftvermögen auf. Somit versickert sehr viel Wasser und ist nicht pflanzenverfügbar. Andererseits sind die Wassermengen, die ein Sandboden binden kann, leichter für Pflanzen verfügbar (geringere Saugspannung) (LÖSCH, 2001).

Adsorptionswasser kann durch elektrostatische Wirkung von geladenen Oberflächen oder Gegenionen, aber auch durch die Van der Waalschen Kräfte und Wasserstoffbrücken gehalten werden. Kapillarwasser wird über Berührungsstellen zwischen den Bodenkörnern gehalten. Hier kommen Adhäsions- (Bindung von Wassermolekülen an der Oberfläche fester Bodenpartikel) und Kohäsionskräfte (Bindung zwischen Wassermolekülen) zur Wirkung (EHLERS, 1996).

Die Gesamtheit der durch genannte Bindungsmechanismen im Boden gehaltenen Wassermenge wird auch als **Feldkapazität** (FK in g H₂O pro 100 ml Bodenvolumen) bezeichnet. Es handelt sich also im Prinzip um die Wassermenge, die in Hohlräumen < 50µm vorhanden ist und die ein zunächst wassergesättigter Boden auch nach wenigen Tagen noch gegen die Schwerkraft halten kann.

Diese maximale Wasserkapazität eines Bodens kann allerdings von den Pflanzen nicht vollständig genutzt werden. In Bodenbereichen mit Poren, die kleiner als $0,2\mu\text{m}$ sind, wirken die Haftkräfte so stark, dass eine Pflanze mit der Saugkraft ihrer Wurzeln nicht mehr in der Lage ist, dieses Wasser zu lösen (pf 4,2). Es handelt sich um das **Totwasser**.

Die minimal für Pflanzen zur Verfügung stehende Wassermenge wird durch den **Permanen-ten Welkepunkt (PWP)** begrenzt. D.h., dass die Pflanzen an diesem Punkt welken/absterben, da nicht genug Wasser zur Verfügung steht.

Die **nutzbare Feldkapazität (nFK)**, auch **pflanzenverfügbares Wasser** genannt, ist die Wassermenge, die von den Pflanzen problemlos aus dem Boden aufgenommen werden kann. Sie ergibt sich aus der Feldkapazität abzüglich des Totwassers. In der Literatur ist meistens die Abkürzung nFKWe zu finden, was speziell auf die verfügbare Wassermenge in mm im effektiven Wurzelraum bezogen ist. Dieser Raum liegt in der Regel bei etwa 60 – 80 cm Wurzeltiefe.

Die Grafik 6 bildet die Wasserspannungskurven einzelner Bodenarten ab. Es wird die Beziehung zwischen Wassergehalt und Wasserspannung der einzelnen Bodenarten deutlich.

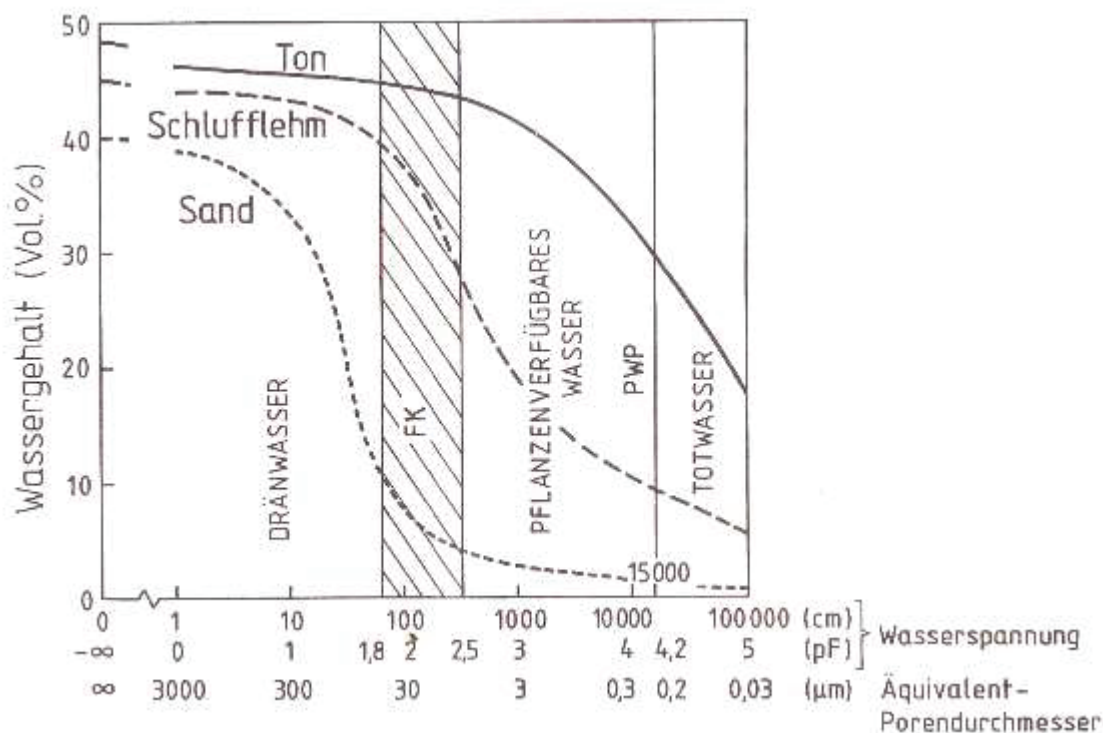


Abbildung 6: Wasserspannungskurven eines Sandbodens (S), Schlufflehm (uL) und Tonbodens (T), 1996

Quelle: EHLERS

Die Spannung, mit der das Bodenwasser gehalten wird, wird durch den so genannten pf-Wert ausgedrückt, welcher der dekadische Logarithmus der Druckeinheit hPa ist. Die Werte sind auch ein Maß für die Saugspannung der Pflanzenwurzeln, die aufgebracht werden muss, um das Wasser aus dem Boden lösen zu können. Die pf-Werteskala reicht von pf 0 zu pf 5, wobei das pflanzenverfügbare Bodenwasser im Bereich zwischen 2,5 – 4,2 pf liegt. Der Wasser- spannung kann ein bestimmter Porendurchmesser zugeordnet werden. Die Wasserbindungs- kraft bei gleichem Wassergehalt ist bei Sand am geringsten und bei Ton am stärksten. Bei Sandböden liegt ein großer Anteil (~ 22 Vol. %) an Grobporen vor. In pf-Bereichen zwischen 1 und 1,8 treten Sickerwassermengen auf. Somit sind große Mengen an Wasser nicht pflan- zenverfügbar. Schluffe und Lehme weisen hohe Anteile an Mittelporen auf (ca. 18 Vol. %), die zwischen pf 2 und pf 3 entwässern. Böden, die überwiegend durch mittlere Porengrößen geprägt sind, können erhebliche Wassermengen pflanzenverfügbar speichern. Tonhaltige Bö- den weisen eine sehr feine Körnung auf. Sie haben je nach Mengenanteil von Ton etwa 12 Vol. % Feinporen im Bereich pf 3 bis pf 4,2. Das Bodenwasser wird hier so fest in den feinen Poren gehalten, dass nur geringe Mengen pflanzenverfügbar sind. Mit Hilfe der pf-Werte können aber auch nur näherungsweise Aussagen über die genaue Wasserspeicherfähigkeit der Böden gemacht werden, da sie gewissen Schwankungen unterliegen. Als Anhaltspunkt kön- nen in etwa folgende nFK für die Hauptbodenarten genannt werden (in 0 – 100 cm Tiefe):

- Sandböden 30 – 140 mm
- Schluff- und Lehmböden 155 – 220 mm
- Tonböden 140 mm

Letztendlich haben Tonböden eine ähnlich hohe Wasserverfügbarkeit für Pflanzen wie Sand- böden. Bei Sandböden versickern große Mengen an Wasser und bei Tonböden wird das Was- ser zu fest gebunden, sodass die Pflanzen mit ihrer Saugspannung nicht mehr in der Lage sind dieses Wasser aus dem Boden lösen zu können (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 1979/2002; KELLER et al., 1997; EHLERS 1996).

Weitere Kenngrößen, die den Bodenwassergehalt und den Wasserbedarf von Pflanzen beein- flussen, sind die **Evaporation** (Wasserabgabe von feuchten Böden) und die **Transpiration** (Wasserabgabe von pflanzlichen Oberflächen), die aus messtechnischen Gründen oftmals zur **Evapotranspiration** (ET) zusammengefasst werden. Bei Pflanzen gibt es die cutikuläre (über äußerste Blattschicht) und die stomatäre (über Spaltöffnungen) Transpiration. Zu den wich-

tigsten Einflussfaktoren auf die Verdunstung zählen die Lufttemperatur, die Blatttemperatur, die Luftfeuchtigkeit, die Sonneneinstrahlung und die Windgeschwindigkeit.

Es wird unterschieden zwischen der **potenziellen (E.pot)** und der **aktuellen Evapotranspiration (E.akt)** (LÖSCH, 2001). Die potenzielle Evapotranspiration bezeichnet die maximal mögliche Verdunstung bei gegebenen Umständen und ausreichender Feuchtigkeit. Bei der aktuellen Evapotranspiration (E.akt), handelt es sich um die aktuell messbare Verdunstung auf den jeweiligen Oberflächen (Pflanze, Boden). Die aktuelle Evapotranspiration ist immer kleiner als der potenzielle Wert. Eine Näherungsgleichung zur Ermittlung der aktuellen Verdunstung stellt die Penman-Monteith-Gleichung dar (LÖSCH, 2001).

Zwischen Wasserverbrauch und Pflanzenertrag besteht in der Regel eine positive Korrelation. Um die Effektivität des Wasserverbrauchs einer Pflanze bestimmen zu können, wird der **Transpirationskoeffizient (TK)** herangezogen. Er zeigt auf, wie viel kg Wasser eine Pflanze benötigt, um 1 kg Trockenmasse zu bilden und stellt somit gewissermaßen die Beziehung zwischen Photosynthese und aktueller Evapotranspiration dar. Der TK ist artspezifisch und abhängig vom Bodenwassergehalt sowie von klimatischen Außenbedingungen.

Die Differenz zwischen Gesamtniederschlägen (N) und der potenziellen Evapotranspiration spiegelt die **Klimatische Wasserbilanz** (Wasserangebot) wider. Diese Wasserbilanz dient auch zur Beurteilung der Grundwasserneubildung und des Verbrauchs. Eine positive Klimatische Wasserbilanz liegt dann vor, wenn mehr Niederschläge fallen als Wassermengen verdunsten können. In diesem Fall wird das Grundwasser aufgefüllt. Dies geschieht meist durch Niederschläge in den Wintermonaten, da zu dieser Zeit weniger Wasser verdunstet. Demgegenüber ist bei negativer Klimatischer Wasserbilanz die Verdunstung höher, als die Niederschläge und somit erfolgt eine Zehrung des Grundwassers (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002).

3. Zwischenfrüchte

Im diesem Kapitel soll anhand ausgewählter Literatur der Zwischenfruchtanbau in seinen Formen, seiner Bedeutung, sowie Vor- und Nachteilen genauer beleuchtet werden. Anschließend sollen unter Kapitel 3.3 Phacelia, Inkarnatklee und Winterrüben näher beschrieben werden. Diese Pflanzen werden exemplarisch für die Standortuntersuchung -Sachsen-Anhalt und Niedersachsen- zum Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten herangezogen.

Der Wandel in der Landwirtschaft hat große pflanzenbauliche Veränderungen mit sich gebracht. Seit dem letzten Jahrhundert gab es landtechnische, züchterische und chemische Entwicklungen (LÜTKE ENTRUP, 2001).

In Regionen, in denen hauptsächlich Ackerbaubetriebe angesiedelt sind, wurden die viehhaltenden Betriebe abgeschafft und somit der frei werdende Acker unter anderem für den Maisanbau genutzt. Der Mais spielt in der heutigen Zeit für die Energiegewinnung in Biogasanlagen eine entscheidende Rolle. Maisflächen stellen jedoch hohe Ansprüche an die Fruchtfolge. Auch im Zuckerrübenanbau haben Veränderungen stattgefunden (siehe Zuckermarktreform), dennoch werden gehäuft Rüben angebaut. In beiden Fällen liegen die Flächen über den Winter brach und sind vor äußeren Einflüssen nicht geschützt. Deshalb sollte mit einer in der Fruchtfolge integrierten Zwischenfrucht versucht werden, die Bodenfruchtbarkeit sicherzustellen. Der Einsatz von Zwischenfrüchten im Rübenanbau ist zudem vorteilhaft aufgrund seiner nematodenresistenten Wirkung (LEHRKE, 2008).

Im Zwischenfruchtanbau gibt es zwei Anbauformen, den Sommerzwischenfruchtanbau und den Winterzwischenfruchtanbau. Für Betriebe, die große Maisflächen anbauen, ist der Winterzwischenfruchtanbau von größerer Bedeutung. In der vorliegenden Bachelorarbeit soll ebenfalls das Hauptmerk auf diese Anbauform gesetzt werden. Zwischenfrüchte dienen „als Schlüsselfunktion im umweltgerechten Anbausystem“ (LÜTKE ENTRUP, 2001), um negative Auswirkung enger Fruchtfolgen und spezifischer Früchte in etwa zu kompensieren. Fruchtfolgen sollten somit vielseitig gestaltet werden und Monokulturen vermieden werden.

Ziel ist es, den Boden lange unter dem Schutz einer Pflanzendecke ruhen zu lassen, um die Bodenstruktur und die Bodenlebewesen und damit die Bodenfruchtbarkeit zu verbessern (LÜTKE ENTRUP, 2001).

Nicht nur in diesem Punkt ist der Anbau von Zwischenfrüchten sinnvoll, sondern auch in der Erzeugung von Futterpflanzen. Die Herdengrößen in Milchviehbetrieben werden immer größer und der Schwerpunkt liegt in der Stallhaltung, sodass immer genügend Futter vorhanden sein muss. In den letzten Jahren nahmen die Getreidepreise zu und der Trend ist dahingehend, günstiges Wirtschaftsfutter herzustellen, welches die Zwischenfrüchte darstellen.

Zwischenfrüchte kommen auch vielfach schon bei der Herstellung von Biogas zum Einsatz. Sie sind also ebenso als Energiepflanzen bedeutsam. Ein Hektar Einjähriges Weidelgras liefert etwa 2000 m³ Biogas (AGRARHEUTE, 2008).

3.1. Bedeutung von Zwischenfrüchten

Ökonomische Zwänge führen auf Betrieben häufig dazu, Kosten einzusparen. Auf den ersten Blick verursachen Zwischenfrüchte mehr Kosten als Nutzen. Deshalb wird häufig auf Zwischenfruchtanbau verzichtet. Jedoch hat der Zwischenfruchtanbau eine hohe Bedeutung zur Realisierung einer nachhaltigen und umweltschonenden Bewirtschaftung.

Die pflanzenbaulichen, ökologischen und betriebswirtschaftlichen Ziele des Zwischenfruchtanbaus sind:

- Erosionsschutz, bessere Niederschlagsinfiltration
- Verbesserung der Bodenstruktur durch Förderung des Bodenlebens (für Nachfrüchte)
- Humusaufbau, Anreicherung des Bodens mit organischer Substanz fördert Bodenfruchtbarkeit
- Biologische Unkrautregulierung
- Biologische Schädlingsbekämpfung
- N₂ Fixierung der Leguminosen
- Grundwasserschutz (Herbst und Winterbegrünung)
- Futtergewinnung

(ISIP, 2008)

Der Boden ist für die Landwirtschaft die wichtigste Ressource und deshalb ist es wichtig, Erosionsschutz und Bodenschutz zu gewährleisten. Bodenerosion vollzieht sich in zwei Teilschritten. Zuerst werden die Bodenaggregate durch die kinetische Energie des Niederschlagswassers zerstört. Es entsteht so ein feinkrümeliges Bodenbild, das durch den Oberflächenabfluss abgetragen wird. Vor allem bei nicht bedeckten Äckern wird das zum großen Problem. Es werden dabei die wertvollen Humusgehalte, die sich in der obersten Bodenschicht befinden teilweise weggespült. Ackerböden weisen insgesamt einen Humusgehalt von 5% auf. Davon liegen 1,8 % bis 2,5 % in der obersten Bodenschicht (10 cm) (GYMNASIUM OSNABRÜCK, 2008). Bei Wind werden die leichten, feinkörnigen und sehr fruchtbaren Bodenteilchen weggeweht, sodass die Fruchtbarkeit des Bodens immens abnimmt. Mit dem Einsatz von Zwischenfrüchten vor allem im Winter und bei Fruchtfolgen mit einem erhöhten Anteil an Mais, Rüben oder Sommergetreide wird der Boden mit einem „Schutzschild“ ausgestattet. Mit Entfaltung eines Zwischenfruchtbestandes wird der Boden mit einer Pflanzendecke überzogen. Es nimmt neben der Bodenerosion auch die Verschlammung durch Niederschlagswas-

ser ab. Die Wasserinfiltration ist bei Pflanzenbedeckung sehr gut. Die Krümelstruktur wird erhöht und Makroporen gebildet. Somit kann zu starker Oberflächenabfluss und Bodenabtrag vermieden werden (LÜTKE ENTRUP, 2001; VALORAS et al., 1974). Die Tabelle 1 zeigt, dass Maisanbau mit Zwischenfrüchten einen geringeren Bodenabtrag aufweist, als Maisanbau mit Schwarzbrache über den Winter.

Tabelle 1: Wasserabfluss und Bodenabtrag bei Maisanbau mit und ohne Zwischenfrüchte in Hanglage (Datenerhebung von 1986), 2001,

Messgröße	Ohne Zwischenfrucht (Brache)	Maisanbau mit Zwischenfrucht		
		Senf	Klee	Gras
Wasserabfluss in l/Parzelle	130	9	6	8
relativ	100	7	5	6
Bodenabtrag in g/m ²	430	113	138	68
relativ	100	26	32	26

Quelle: LÜTKE ENTRUP

Nicht jeder Boden eignet sich gut als ein Pflanzenstandort. Dies ist abhängig davon, wie sich die einzelnen Bodenteilchen zusammenfügen und wie viele Hohlräume vorhanden sind, was als so genannte Bodenstruktur bezeichnet wird. Diese ändert sich ständig. Negativ kann die Bodenstruktur durch freiliegende Ackerböden beeinflusst werden, wie oben im Abschnitt Bodenerosion beschrieben ist. Aber nicht nur der Wind hat Einfluss auf die Bodenstruktur, sondern auch natürliche Prozesse wie Setzen, Einschlämmen und Schrumpfen. Diese können dazu führen, dass sich Bodenteilchen verdichten, quellen, frostsprengen oder auseinanderdrücken. Der Mensch beeinflusst mit Bodenbearbeitungsmaßnahmen auch das Bodengefüge. Ziel ist es einen optimalen Gefügestand zu erreichen.

Auch Zwischenfrüchte können dazu beitragen. Weidelgras als Flachwurzler hat z.B. eher eine strukturstabilisierende Wirkung auf die Oberschicht des Bodens. Kleearten bewirken mit ihrem tiefreichenden Wurzelsystem eine Verbindung zwischen Pflughorizont und Unterboden. Dabei erfolgt eine Bildung und Stabilisierung von Poren. Nicht nur der Wurzeltiefgang einer Zwischenfrucht, auch die Bereitstellung von oberirdischer und unterirdischer Biomasse hat Einfluss auf die Krume. Diese Masse ist Nahrung für die Bodenlebewesen, welche bei erhöhter Anzahl die Bodenstruktur verbessern. Die Stoffwechselprodukte der Mikroorganismen wirken verklebend auf anorganische Bodenpartikel. Ein anderer Teil der Biomasse bewirkt die Entstehung von stabilen Verbindungen zwischen mineralischen und organischen Boden-

bestandteilchen, dem Ton-Humus Komplex und Bodenkrümeln. Leguminosenanbau beeinflusst die Humusbildung am stärksten (RÖMER et al., 1953).

Leguminosen können mit Hilfe der Knöllchenbakterien Luftstickstoff binden und somit führen sie dem Boden stickstoffreiche organische Masse zu. Je höher diese organische Anreicherung ist, umso mehr Nährstoffe können für die Nachfrüchte bereitgestellt werden. Die Stickstoffwirkung ist abhängig davon, ob ausreichend Stickstoffmengen in mineralisierter, also pflanzenaufnehmbarer Form zur Verfügung stehen. Auch eine erhöhte Aktivität der kleinsten Bodenorganismen führt zu einer besseren Stickstoffversorgung der Nachfrüchte. Dennoch muss bei diesem Punkt immer noch die Bodenbearbeitung im Ackerbau berücksichtigt werden. Bodenbearbeitungsmaßnahmen wirken bei steigender Intensität humuszehrend. So sollten beim Anbau von Zwischenfrüchten diese beiden gegenläufigen Prozesse Beachtung finden und kritisch betrachtet werden (KOLBE, 2004).

Weitere Vorteile des Zwischenanbaus liegen in seiner unkrautregulierenden Wirkung. Wenn Zwischenfrüchte termingerecht mit einem idealen Saatbeet ausgebracht werden und somit ein schneller Feldaufgang gewährleistet werden kann, sind Herbizide überflüssig bzw. können Mengen eingespart werden. Vor allem Senf, Buchweizen, Raps und Ölrettich, welche einen schnellen Bestandesschluss haben, werden als starke Konkurrenten für das Unkraut angesehen (KOLBE et al., 2004). Selbst Quecken lassen sich mit Hilfe dieser Zwischenfrüchte bekämpfen. Bei Untersaaten sollte drauf geachtet werden, dass der Aussaattermin der Zwischenfrucht vor der Keimung der Unkräuter liegt. Denn schon bei geringem Bedeckungsgrad reagieren die Unkräuter sehr konkurrenzempfindlich. Daher sind frühe Aussaaten der Untersaat erfolgreicher in der Unterdrückung von Unkräutern als späte Aussaaten.

Neben der Unkrautregulierung spielt auch die Schädlingsbekämpfung eine große Rolle. Bei Einhaltung der Anbaupausen können Krankheiten und Schädlinge unterdrückt werden. Als Beispiel ist hier die Schwarzbeinigkeit zu nennen. Diese Krankheit tritt vor allem bei Weizen, Gerste, Roggen und zahlreichen Gräsern auf. Bevorzugte Böden für diese Krankheit sind leichte und inaktive Sandböden. Ein bodenbürtiger Pilz infiziert über Myzel von befallenen Ernterückständen, infiziertem Ausfallgetreide oder infizierten Ungräsern junge Pflanzen. Bei starkem Befall sind Ernteauffälle bis zu 70% möglich (GROSSE HOKAMP, 2007). Durch den Zwischenfruchtanbau wird die biologische Bodenaktivität angeregt und die antagonistische Bodenmikroflora zur Bekämpfung der Schadorganismen wird begünstigt.

Der Befall mit Rübennematoden führt zu Beginn des Rübenwachstums zum Welken der Rübenblätter. Der Rübenkörper entwickelt zunehmend zystenbesetzte Seitenwurzeln. In diesen Zysten befinden sich 250 Eier und Larven (LÜTKE ENTRUP, 2001), die sich von der Wirtspflanze ernähren. Eine biologische Bekämpfung stellt der Anbau von nematodenresistenter Ölrettich und Senfsorten dar. Bei diesen Sorten können sich die weiblichen Larven nicht bis zur Zystenbildung entwickeln, da das Nahrungsangebot fehlt. Es kommt somit zu einer Reduzierung des Besatzes. Eine 100%ige Wirkung ist jedoch nicht zu erreichen.

Der Zwischenfruchtanbau unterstützt auch den Gewässerschutz. In dem Zusammenhang soll der Eintrag von Nährstoffen ins Grundwasser verhindert werden. Vor allem Nitrat spielt hierbei eine größere Rolle. Nicht nur durch die Stickstoff(N)-aufnahme und -bindung werden die N-Verluste verringert, sondern auch durch den veränderten Wasserhaushalt. Zwischenfrüchte verbrauchen Wasser und somit steht dann weniger für die Versickerung zur Verfügung. So wird mit konsequentem Zwischenfruchtanbau die Nitratkonzentration im durchwurzelten Bodenraum und im Grundwasser vermindert. Der fixierte Stickstoff wird nach der Einarbeitung der Zwischenfruchtmasse freigesetzt und für die Ertragsbildung der Folgekulturen genutzt.

Tabelle 2: Ertragsleistung von Zwischenfrüchten und Nitratgehalt des Bodens bei Vegetationsruhe im Spätherbst, 2001

Zwischenfrucht	Lössleimboden (Ackerbaubetrieb)		Sandboden (Viehhetrieb)	
	Ertrag dt/ha TM	NO ₃ -N kg/ha	Ertrag dt/ha TM	NO ₃ -N kg/ha
ohne (Brache)	-	128	-	163
Phacelia	41,3	39	33,0	30
Sommerrübsen	40,8	19	43,7	36
Welsches Weidelgras	22,5	32	16,9	52

Quelle: LÜTKE ENTRUP

Zwischenfrüchte können auch als zusätzlicher Futterlieferant dienen. Die Gründe dafür sind:

- liefern hochwertiges Wirtschaftsfutter mit einer hohen Futterqualität
- können als Ergänzungsfutter zu stärkereichen Rationen zugefüttert werden

(LÜTKE ENTRUP, 2001)

3.2. *Ansaatverfahren und Anbauformen*

Zwischenfrüchte können in unterschiedlichen Formen angebaut werden. Je nach Saatzeit und Saatverfahren kann man unterscheiden in Sommerzwischenfrucht- und Winterzwischenfruchtanbau. Bei Ansaatverfahren wird unterschieden nach Untersaat, Beisaat und Stoppelsaat. Bei der **Untersaat** handelt es sich um eine Form des Mischanbaues. In der Hauptfrucht werden Zwischenfrüchte als Untersaaten mit eingesät und nach der Ernte der Hauptfrucht bleiben diese stehen und wachsen weiter (KOLBE et al., 2004). Die Begrünung mit Zwischenfrüchten in der Form der Untersaat erfolgt u.a. in Getreide, in Ackerbohnen und im Mais. Untersaatverfahren sind nicht ganz einfach, weil auf der einen Seite die Deckfrucht mit ihren Ansprüchen hinsichtlich Pflanzenbestand, Düngung und Herbizideinsatz betrachtet werden muss und auf der anderen Seite eine gute Bestandesetablierung der Zwischenfrucht gewährleistet werden muss.

Vorteile der Untersaaten sind:

- keine zusätzliche Bodenbearbeitung
- geringere Aussaatmengen und Kosten sowie einen Wachstumsvorsprung im Vergleich zur Stoppelsaat
- Begrünung schwerer Tonböden nach der Getreideernte
- Förderung der Bodengare durch intensive Durchwurzelung und Bodenbedeckung
- Förderung der Bodenlebewesen durch längere Bodenruhe
- Schutz vor Wind- und Wassererosion
- Verhinderung der Nitratauswaschung

(LÜTKE ENTRUP, 2001)

Untersaaten haben jedoch den Nachteil, dass sie relativ risikoreich sind. Der Landwirt muss über die Kompetenz verfügen, zwei Pflanzenbestände parallel zu etablieren. Dabei müssen Verträglichkeit und Ansprüche der Pflanzen geprüft werden. Zudem spielt die richtige Arten- und Sortenwahl eine bedeutende Rolle. Nicht selten wird die Deckfrucht durch die Untersaat in ihrer Entwicklung negativ beeinflusst und es kann weiterhin zu Ernteschwernissen der Deckfrucht kommen.

Werden Untersaat und Deckfrucht gleichzeitig ausgesät, so spricht man von der **Beisaat**. Durch das unterschiedliche Einzelkorngewicht kann es schnell zur Entmischung des Saatgutes kommen. Deshalb sollte das Saatgut häufiger durchmischt werden und der Saatgutbehälter

nicht ganz befüllt werden. Aggressive Zwischenfrüchte wie Rotklee und Welsches Weidelgras sollten für eine Beisat vermieden werden, damit keine Konkurrenz mit der Deckfrucht entsteht, da diese sich dann schlechter etabliert.

Stoppelsaat ist die häufigste Form der Aussaattechnik. Die Untersuchungen dieser Bachelorarbeit basieren auch ausschließlich auf dem Stoppelansaatverfahren. Die Aussaat der Zwischenfrucht erfolgt nach der Ernte der Deckfrucht auf das Stoppelfeld oder auf den bearbeiteten Boden. Wichtig ist, dass das Saatbett feinkrümelig und rückverfestigt ist (LÜTKE ENTRUP, 2001), damit der Samen genügend Bodenschluss hat. Es sollte aber auf zu tiefe Bodenbearbeitung verzichtet werden, um den Feldaufgang und die darauf folgende Jugendentwicklung vor dem Winter zu sichern. Bei der so genannten konservierenden Bodenbearbeitung, der Direktsaat, bleiben Reststoffe der Vorfrucht auf dem Boden, sodass bei dieser Form darauf geachtet werden muss, dass das Saatgut wirklich in den Boden gelangt. Die Vorteile der Stoppelsaat liegen darin, dass bei guter Aussaatqualität die Zwischenfrüchte sich gut gegen Unkräuter und Ausfallgetreide etablieren können und somit Herbizideinsatz vermieden wird. Die Stoppelsaat wird vor allem in Regionen eingesetzt, in denen die normale Fruchtfolge Winterraps-Winterweizen-Wintergerste nicht erfolgt, sondern nach Getreide Mais oder Rüben angebaut werden. Mit Hilfe dieses Verfahrens kann im Herbst und Winter verhindert werden, dass das Feld brach liegt. Für Stoppelsaat bietet sich nach LÜTKE ENTRUP (2001) eine Region an, die eine Mindestvegetationsdauer von 7-9 Wochen hat. Die Aussaat erfolgt hauptsächlich mit der Stoppelbearbeitung. Laut LÜTKE ENTRUP (2001) gilt für eine optimale Ertragsbildung folgender Leitsatz:

„Ein Tag im Juli ist besser als ein Woche im August. Eine Woche im August ist besser als der ganze September.“

3.2.1 Sommerzwischenfruchtanbau

Der Sommerzwischenfruchtanbau ist der Anbau von Zwischenfrüchten, auch Stoppelfrüchte genannt, nach der Hauptfrucht. Die Hauptentwicklung und das Hauptwachstum konzentrieren sich auf den Spätsommer und Herbst. Danach werden die Zwischenfrüchte hauptsächlich für die Futternutzung abgeerntet oder bleiben über den Winter stehen und frieren ab. Es gibt die Möglichkeit, dass im Spätherbst nach Umbruch oder Ente der Zwischenfrucht noch eine Winterung angebaut wird (LÜTKE ENTRUP/RENIUS, 1992). Die Ertragsbildung bzw. Trockenmasseerträge sind stark abhängig vom Standort, Saattermin und Witterungseinflüssen.

Wenn Zwischenfrüchte früh ausgesät werden, können bis zu vier Monate Pflanzenwachstum genutzt werden (ARBEITSGEMEINSCHAFT DER NORDDEUTSCHEN LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN, 2008).

3.2.2 Winterzwischenfruchtanbau

Winterzwischenfrüchte sind Arten, die in abfrierende und überwinternde Fruchtarten untergliedert werden können. Abfrierende (abfrostende) Pflanzen haben ihr vegetatives Hauptwachstum bis zum Spätherbst erreicht und mit Beginn der ersten Fröste die Vegetationsperiode abgeschlossen. Im Gegensatz dazu zählen Pflanzenarten, die ihre Vegetation im Frühjahr fortsetzen, zu den überwinternden Arten. Sie benötigen vor dem Winter 40-60 und nach dem Winter 50-80 Vegetationstage (OEHMICHEN, 1986; LÜTKE ENTRUP, 2001).

Die Aussaat muss je nach Standort Mitte August bis Ende September erfolgen. Die Ernte fällt dann bei überwinternden Zwischenfrüchten auf Ende April bis Mitte Mai. Nach dieser Anbauform können somit u.a. nur Kulturen wie Mais und Rüben angebaut werden. Ein Vorteil des Winterzwischenfruchtanbaus liegt in seiner Eignung für alle Böden. Die Winterniederschläge können gut ausgenutzt werden und somit ist eine hohe Ertragssicherheit zu erwarten (LÜTKE ENTRUP/RENIUS, 1992). Jedoch bestehen die Nachteile darin, dass es im Herbst durch den zusätzlichen Aufwand der Saat der Zwischenfrucht neben der Ernte zu Arbeitsspitzen kommt und bei zu langer Vegetationsperiode die Zwischenfrucht im Frühjahr den Bodenwasservorrat stark beanspruchen kann. Bei der Folgekultur besteht dann das erhöhte Risiko zu einem verminderten Feldaufgang durch den geringen Wasseranschluss. Ebenfalls kann bei zu später Ernte der Zwischenfrucht eine termingerechte Aussaat der Folgekultur nicht gewährleistet werden. Nach LÜTKE ENTRUP (2001) sind somit Böden mit hoher Wasserspeicherkapazität und guter Bearbeitbarkeit optimale Anbaustandorte.

Die Tabelle 3 zeigt eine Zusammenstellung, der wichtigsten Pflanzen für den Zwischenfruchtanbau:

Tabelle 3: Übersicht der wichtigsten Zwischenfrüchte (2001/2004)

Anbauformen	Großkörnige Leguminosen	Kleinkörnige Leguminosen	Gräser	Kruziferen	sonstige Zwischenfrüchte
Sommerfruchtanbau	Erbse	Perserklee	Einjähriges Weidelgras	Sommerrübe	Sonnenblume
	Ackerbohne	Alexandrinerklee	Welsches Weidelgras	Futterkohl	Buchweizen
	Wicke	Erdklee	Knautgras	Stoppelrübe	Phacelia
	Blaue Lupine	Weißklee	Rotschwingel	Sommerraps	
	Gelbe Lupine	Rotklee		Ölrettich	
	Weißer Lupine	Gelbklee		Senfarten	
	Platterbse	Serradella			
Winterfruchtanbau	Winterwicke	Inkarnatklee	Welsches Weidelgras	Winterrübe	
			Grünfütterroggen	Winterraps	

Quelle: LÜTKE ENTRUP, KOLBE

3.3. Artenbeschreibung ausgewählter Zwischenfrüchte

3.3.1 *Phacelia (Phacelia tanacetifolia Benth.)*



Abbildung 7: Phacelia begrünter Acker, 2008

Quelle: BAYRISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT



Abbildung 8: Blütenstand einer Phaceliapflanze, 2008

Quelle: BRITISCH WILD FLOWERS

Herkunft/Abstammung: Phacelia ist ein einjähriges krautiges Gewächs, das ursprünglich aus Kalifornien stammt und zur Familie der Wasserblattgewächse (*Hydrophyllaceae*) gehört.

Sie wird im Volksmund auch vermehrt als „Büschelschön“ bezeichnet. Das rührt von der griechischen Begriffsableitung *phakelos* für Büschel her (HAMPL, 1996).

Morphologie: Phacelia ist eine stark behaarte Pflanze mit bis zu 70 cm hohem und aufrechtem Wuchs. Die Blätter sind sehr fein gegliedert und bei dem Blütenstand handelt es sich um eine endständige ährenförmige Traube mit blauvioletter Farbgebung (HAMPL, 1996).

Anbau: Phacelia wurde ursprünglich als Zierpflanze genutzt und ist ebenfalls bei Imkern als Bienenwiese sehr beliebt. Der gezielte Einsatz als Zwischenfrucht zur Gründüngung und zum Bodenschutz ist erst seit etwa 30 Jahren bekannt. Für die Futtergewinnung ist Phacelia allerdings ungeeignet. Sie wird im Stoppelfruchtanbauverfahren genutzt und lässt sich gut in jede Fruchtfolge einfügen, da keine Verwandtschaft zu den heimischen Kulturpflanzen besteht und somit die Gefahr negativer Wechselbeziehung, gefolgt von der Ausprägung spezifischer (Fruchtfolge-) Krankheiten, ausgeschlossen werden kann (LÜTKE ENTRUP, 2001). Neben nematodenresistenten Ölerrettichsorten wird auch Phacelia in Zuckerrübenfruchtfolgen (Mulchsaat) gerne eingesetzt, um die Nematodenproblematik einzudämmen. Allgemein wird Phacelia überwiegend vor Sommerungen, wie z.B. auch Mais, angebaut. In Kartoffelfruchtfolgen sollte auf einen Anbau von Phacelia verzichtet werden, da es zu einer Verbreitung der Eisenfleckig-

keit kommen kann (LÜTKE ENTRUP, 2001; RIECKMANN et al., 2008; KÜPPER et al., 2000; BERENDOCK, 2005).

Der optimale Aussaatzeitraum für Phacelia erstreckt sich über den Zeitraum Anfang bis Ende August eines Jahres. Die Frucht wird dann etwa 50 – 70 Tage nach Aussaat wieder umgebrochen bzw. friert spätestens zum Wintereinbruch ab, weil sie nicht frosthart ist. Für die flache Aussaat von nur 1 – 2 cm Ablagetiefe werden Aussaatmengen von etwa 8 – 12 kg/ ha benötigt. Phacelia gehört zu den Dunkelkeimern und weist eine rasche Entwicklung auf, sodass recht schnell eine dichte Begrünung entsteht. Es können Trockenmasseerträge in Bereichen von 25-50 dt/ha erreicht werden. Phacelia durchwurzelt den Boden mithilfe ihrer Pfahlwurzel und einer angemessenen Seiten- und Feinwurzelbildung bis in 60 – 80 cm Tiefe. Es sind Wurzel trockenmasseerträge zwischen 10 – 12 dt/ha möglich (LÜTKE ENTRUP, 2001; ARBEITSGEMEINSCHAFT DER NORDDEUTSCHEN LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN, 2008; HAMPL 1996).

Phacelia stellt gewisse Ansprüche an Boden und Klima. Angemessen sind tiefgründige, lockere und gut luftführende Böden. Das zunächst feinkrümelig gestaltete Saatbett sollte vor dem Ausdrillen rückverfestigt werden und die Aussaat dicht genug erfolgen, um das Hervortreten von Unkräutern und -gräsern zu vermeiden. Phacelia bevorzugt warme Klimate und toleriert Trockenperioden, aber auch leichte Fröste. Für die Keimung und Biomassebildung sind ausreichend Wassermengen erforderlich (BENDONK, 2005; KOLBE, 2004). Bezogen auf die Düngung ist Phacelia relativ anspruchslos, Stickstoffgaben in organischer Form sind zu empfehlen (RIECKMANN, 2008).

Vorteile von Phacelia sind:

- zügige Jugendentwicklung, welche zu einem dichten Bestand führt und eine Unkrautunterdrückung bewirkt
- Erosionsschutz durch abgefrorene Pflanzenreste (geeignet als Vorfrucht für Mulchsaaten)
- Unterdrückung der Zuckerrüben nematoden
- Verträglichkeit mit vielen Kulturen
- Bodenverbesserung (Gare) aufgrund der Pfahlwurzel und des stark ausgeprägten Flachwurzelsystems
- Nitratbindungsvermögen

(LÜTKE ENTRUP, 2001; HAMPL, 1996; BERENDOCK, 2005; KÜPPER, 2000; RIECKMANN, 2008)

3.3.2 Klee (*Trifolium L.*)

Herkunft/Abstammung: Klee stellt eine bedeutungsvolle Zwischenfrucht im Ackerbau dar, gehört zur Familie der Hülsenfrüchte (*Fabaceae, Leguminosae*) und in die Unterordnung der Schmetterlingsblütler. Diese Unterfamilie schließt etwa 400 Gattungen und 900 Arten ein und ist auf der ganzen Welt aufzufinden. Der Gattungsname leitet sich von der Anzahl der gefiederten Blätter ab (lat. *tres* = drei, *folium* = Blatt).

Morphologie: Kleearten sind im Gelände gut wieder zu erkennen, da sie bezogen auf ihre Beblätterung ein prägnantes Aussehen haben. Es handelt sich meist um drei gefiederte Blättchen, selten sind auch vier zu finden. Die Blüte stellt sich als eine dichte Dolde dar und kann rötlich, gelb oder weiß gefärbt sein. Sie sitzt auf einem langen Stiel, der die Blätter oftmals überragt. Klee bildet länglich-runde, eierförmige Früchte aus, die ein- bis viersamig sein können (KELLER et al., 1999; SNEYD, 1995).

Bedeutung des Klees: Die Kleearten gehören zu den Sommerzwischenfrüchten, die generell über den Winter abfrieren. Eine Ausnahme stellt der Inkarnatklee dar, der als Sommer-, sowie Winterzwischenfrucht angebaut werden kann, da er relativ winterfest ist (LÜTKE ENTRUP, 2001). Klee zählt zu den Kleinkörnigen Leguminosen, da sein TKG mit 0,6 – 3 g relativ gering ist. Auch die entstehende Keimpflanze ist klein mit nur schwacher Anfangsentwicklung, was bedeutet, dass die Abwehr gegenüber zu starkem Unkrautdruck eingeschränkt ist. Die Kleinsamigkeit erfordert eine aufwendige Bodenvorbereitung und flache Aussaat (KOLBE et al., 2004).

Es gibt verschiedene Kleearten, die sich für den Zwischenfruchtanbau eignen. Sie zeichnen sich neben bodenverbessernder Wirkung zur Gründüngung auch als wertvolle und eiweißreiche Futterpflanzen aus. In diesem Zusammenhang werden Kleearten meist mit Futtergräsern (oftmals Weidelgras) zusammen ausgesät. Somit kann ein schnellerer Aufwuchs und eine damit verbundene Unterdrückung von Unkräutern gewährleistet werden (BERENDONK, 2007). Kleearten sind neben dem Stengelälchen sehr anfällig für Kleekrebs. Die Dauerkörper können bis zu fünf bis sieben Jahre im Boden lebensfähig bleiben. Es gibt aber die Möglichkeit, durch resistente Kleesorten, längere Anbaupausen (~8 Jahre) oder durch Kurzhalten des Bestandes am Ende der Vegetationsperiode das Krankheitsgeschehen einzudämmen.

Der hohe Eiweißgehalt ist auf eine besondere Eigenschaft der Leguminosen zurückzuführen. Klee ist, wie schon in Kapitel 3.1 erwähnt, aufgrund einer Symbiose mit so genannten „Knöllchen-Bakterien“ (Rhizobien) in der Lage, Stickstoff aus der Bodenluft zu binden und im Boden zu akkumulieren, um ihn selbst zu nutzen und den Folgefrüchten zur Verfügung zu

stellen. Somit trägt Klee ganz wesentlich zur Fruchtbarkeit der Böden bei. Die Stickstofffixierung des Klees ist wesentlich abhängig von seinen Aufwuchsbedingungen (Boden- und Nährstoffversorgung, Vegetationsdauer und Bestandesdichte). Der Nährstoffbedarf (Stickstoff) von Kleearten ist aufgrund dieser Eigenschaft sehr gering (KELLER et al., 1999).

In Grundwasserschutzgebieten ist der Anbau von Leguminosen nur bedingt oder in Kopplung mit N-zehrenden Früchten erlaubt, da die Gefahr der Versickerung der akkumulierten Stickstoffmengen gegeben ist und somit schnell die Nitrat-Grenzwerte (50 mg/Liter) im Trinkwasser überschritten werden (CONVIS, 2008).

Wichtige Kleearten im Zwischenfruchtanbau:

Weißklee (*Trifolium repens* L.):

Die häufigste Anbaunutzung von Weißklee ist das Dauergrünland. Er ist aber auch im Zwischenfruchtanbau als Untersaat für Sommer- und Wintergetreide sowie als Stoppelansaat bedeutsam.



Abbildung 9: Weißklee, 2008

Quelle: LAFENTHALER

Rotklee (*Trifolium pratense* L.):

Rotklee wird gerne für die Futternutzung (Heu und Silage) in Kombination mit strukturreichen Gräsern genutzt, ist sehr nährstoffreich und gut verdaulich. Er wird allerdings weniger für die direkte Beweidung eingesetzt. Dennoch ist Rotklee nicht so hochwertig wie Weißklee. Er eignet sich gut als Zwischenfrucht im Untersaatverfahren zu Getreide im Frühjahr.



Abbildung 10: Rotklee, 2008

Quelle: HOG BIRDA

Alexandrinischer Klee (*Trifolium alexandrinum* L.):

Alexandrinischer Klee wird zur Gründüngung (Stoppel- und Untersaat), insbesondere im Sommerzwischenfruchtanbau und zur Futtergewinnung in Kombination mit Weidelgräsern eingesetzt; er zeichnet sich demgemäß durch einen hohen Futter- und Vorfruchtwert aus. Auch für Kurzbrachen ist Alexandrinischer Klee geeignet. Allerdings sollte er im Futterbau früh genutzt werden, da die Stängel schnell verholzen (HAMPL, 1996; LÜTKE ENTRUP, 2001; KELLER et al. 1999; KOLBE et al., 2004; HARTMANN et al., 2008 a).



Abbildung 11: Alexandrinischer Klee. 1991

Quelle GEISLER

Perserklee (*Trifolium resupinatum* L.):

Neben der Schnitt- und direkten Weidenutzung wird der Perserklee zur vielseitigen Nutzung als Gründüngungspflanze (Garten-/Obst-/ Weinbau) gerne angebaut. Als Untersaat ist er diesbezüglich nicht zu verwenden (HAMPL, 1996, LÜTKE ENTRUP, 2001; SNEYD, 1995; HARTMANN et al., 2008 b).



Abbildung 12: Perserklee, 2004

Quelle: ÖKOLANDBAU NRW

Inkarnatklee (*Trifolium incarnatum* L.):

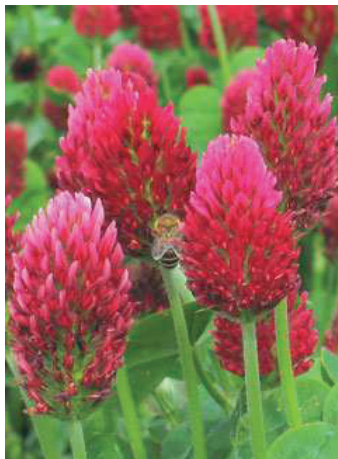


Abbildung 14: Inkarnatklee, 2007

Quelle: BIOLAND

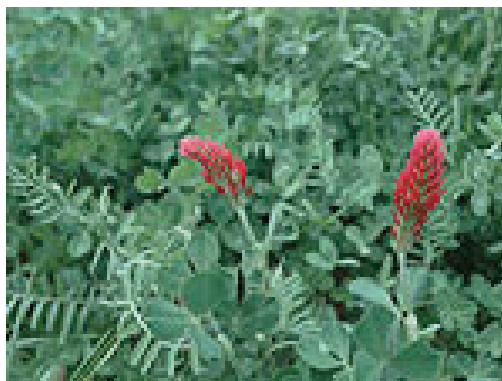


Abbildung 13: Inkarnatklee, 2008

Quelle: ÖKOLANDBAU

Der Inkarnatklee stammt aus Südosteuropa und wird im Volksmund aufgrund seiner dunkelroten Blütenfärbung auch **Blutklee, Buntklee oder Rosenroter Klee** genannt.

Es handelt sich um eine ein- bis zweijährige Pflanze, die mit ihrem aufrechten Wuchs eine Höhe von bis zu 50 - 80 cm erreicht. Die Laubblätter sind, wie typisch für Kleearten, dreigliedert. Der Stiel ist stark behaart und gut verzweigt. Die Blütenstände sind länglich. Die Befruchtung erfolgt meist durch Insekten, Selbstbefruchtung ist aber auch möglich. Die starke Beblätterung des Inkarnatklees zeichnet ihn im Zwischenfruchtanbau aus.

Inkarnatklee dient im Stoppelsaatverfahren dem Winterzwischenfruchtanbau. Zumeist wird Inkarnatklee dann im Gemenge mit anderen Winterzwischenfrüchten, wie z.B. dem Welschen Weidelgras oder der Winterwicke, angebaut und dient somit als wertvolles Futtermittel. Für die Beweidung eignet sich Inkarnatklee aufgrund seiner dichten Stengelbehaarung nicht. Inkarnatklee erreicht ähnlich wie Alexandriner- und Perserklee Trockenmasseerträge von 20–30 dt/ha als Sommerzwischenfrucht. Im Winterzwischenfruchtanbau liegen die Erträge zwischen 30 – 45 dt/ ha (LÜTKE ENTRUP, 2001). Der Inkarnatklee zur Sommerbegrünung wird etwa Ende Juli bis Anfang August ausgesät und nach etwa 50 – 60 Tagen umgebrochen oder bei genügend Aufwuchs noch geerntet. Zur Winterbegrünung kann der Inkarnatklee noch bis Anfang/Mitte September ausgesät werden. Er bleibt dann bis ins nächste Frühjahr (April) stehen und wird rechtzeitig vor Ansaat der Hauptfrucht totgespritzt (ARBEITSGEMEINSCHAFT NORDDEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN, 2008). Bei Aussaat im Reinsaatverfahren, das seltener vorkommt, werden etwa 25 – 35 kg/ha Saatgut in ein festes Saatbett 1–2 cm tief ausgedrillt (KOLBE, 2004).

Inkarnatklee bildet eine kräftige Pfahlwurzel mit wenigen Seitenwurzeln aus, mit denen er den Oberboden gut durchwurzeln kann. Wurzeltrockenmasseerträge liegen zwischen 5 – 12 dt/ha (LÜTKE ENTRUP, 2001).

In der Fruchtfolge muss berücksichtigt werden, dass Inkarnatklee selbstunverträglich ist und auch zu Rotklee angemessen lange Anbaupausen eingehalten werden müssen. Ansonsten lässt er sich aufgrund seiner nematodenresistenten Wirkung gut als Vorfrucht im Rüben-, Kartoffel- und Rapsanbau einsetzen (SNEYD, 1995).

Inkarnatklee bevorzugt eine feuchtwarme Witterung im Frühjahr. Die Böden sollten nicht zu schwer sein, aber auch saure, nährstoffarme Sande sind ungeeignet. Optimal sind mittlere, gut kalkversorgte Böden (KELLER, 1999; LÜTKE ENTRUP, 2001, KOLBE, 2004).

Die fünf oben beschriebenen Kleearten, insbesondere der Weißklee, können wohl als bedeutendste Leguminosen ihrer Art im Zwischenfruchtanbau betrachtet werden. Die Erläuterungen zum Inkarnatklee sind bewusst umfangreicher erfolgt, da dieser für die weitere Untersuchung in der vorliegenden Bachelorarbeit ausgewählt wurde. Darüber hinaus ist darauf hinzuweisen, dass es noch eine Menge weiterer Kleearten gibt, die ebenso eine Rolle im Bereich der Zwischenbegrünung spielen.

Diese Kleearten sind:

- Erdklee, Bodenfrüchtiger Klee (*Trifolium subterraneum*)
- Schwedenklee, Bastardklee (*Trifolium hybridum*)
- Gelber und Weißer Steinklee, Bokharaklee (*Melilotus officinalis*, *Melilotus albus*)
- Hornschotenklee (*Lotus corniculatus*)

Neben diesen kleinkörnigen Leguminosen gibt es noch großkörnige Leguminosen, wie z.B. Weiße und Blaue Lupine und die Erbse, die ihrerseits auch erfolgreich im Zwischenfruchtanbau eingesetzt werden (KOLBE, 2004).

Vorteile von Kleearten (Leguminosen) sind:

- Symbiose mit Rhizobien-Bakterien ermöglicht eine Fixierung von Stickstoff aus der Luft, die in den organischen Kreislauf eingebracht wird (zunächst hauptsächlich Bereitstellung für Pflanzenwachstum)

- ausgeprägte Wurzelsysteme, geprägt durch Pfahl-/ Seiten- und Feinwurzeln, ermöglichen eine gesunde Bodengare:
 - bedingte Tiefendurchwurzelung ermöglicht eine verbesserte Jugendentwicklung der nachfolgenden Früchte, wegen Vorarbeit mit den Pfahlwurzeln
 - Mineralisierung abgestorbener Wurzelreste und Wurzelsekrete reichern den Mineral- und Nährstoffhaushalt von Böden an
 - lockere und gut luftführende Bodenstruktur fördern die Anfangsentwicklung der Nachfrüchte
- dichte Pflanzenbestände durch starke Biomassebildung
- besonders über den Winter hinweg bietet die Grünbedeckung Schutz vor Wind- und Wassererosion und wirkt gärefördernd.

(HAMPL, 1996; KELLER, 1999)

3.3.3 Rübsen (*Brassica rapa L. emend.*)

Rübsen gehören zur Familie der Kreuzblütengewächse und sind somit eng mit dem Kulturraps verwandt. Sie lassen sich in Sommer- und Winterrübsen gliedern und werden hauptsächlich zum Zweck der Ölgewinnung, aber auch viel verbreitet zur Gründüngung im Zwischenfruchtanbau eingesetzt. Allgemein dienen Cruziferen der Futtergewinnung, wobei ergänzend Rohfasergehalte verabreicht und die relativ hohen Nitratgehalte beachtet werden müssen. Als Cruziferen gelten Rübsen als schnellwüchsig und konkurrenzstark gegenüber Unkräutern. Sie gehören zwar nicht zu den weit verbreiteten Zwischenfrüchten ihrer Art, so wie Gelbsenf und Ölettich, zeichnen sich aber durch ihre Winterfestigkeit aus.



Abbildung 15: Winterrübsen, 2008

Quelle: WIKIPEDIA (a)

In der Fruchtfolge sind Verwandtschaftsbeziehungen, z.B. zur Hauptfrucht Raps, unbedingt zu berücksichtigen und Anbaupausen einzuhalten, damit es nicht zu einem überhöhten Krankheits-, bzw. Schädlingsdruck kommt, da Zwischenfrüchte auch als Wirtspflanzen fungieren können.

Rübsen, aber auch allgemein Cruziferen, sollten im Frühjahr vor Aussaat der Sommerung zeitig umgebrochen werden; ansonsten besteht aufgrund von Speicherung großer Assimilate-

mengen in den Wurzeln (Rüben) Durchwuchsfahr in der Folgekultur (KOLBE, 2004; LÜTKE ENTRUP, 2001).

Rübsen gehören der Gattung *Brassica* an und lassen sich noch in einzelne Spezifikationen untergliedern (z.B. Ölrübe *B. rapa* ssp. *oleifera* und Speiserübe *B. rapa* ssp. *rapa*). Die geografische Verbreitung der Rübsen reicht weit; sie werden in Europa, Vorderasien, Mittelasien, China, Westasien, Süd- und Nordamerika angebaut.

Im Folgenden soll das Augenmerk auf die Winterrübe als Begrünpflanze für den Winterzwischenfruchtanbau gelegt werden. Winterrüben sind ein- bis mehrjährige Pflanzen (GEISLER, 1991). Sie dienen neben der Stoppelansaat als Zwischenfrucht und der Ölgewinnung auch als wertvolles Futtermittel, zumeist in Beweidungsnutzung (KOLBE, 2004).

Ähnlich wie Raps bilden auch Rübsen eine tiefreichende Pfahlwurzel aus, die allerdings dünner und spindelförmig ausfällt. Die Laubblätter sind leicht bläulich bereift und umfassen im Gegenteil zum Raps den Stengel vollständig. In der Jugendphase bilden Winterrüben eine Rosette aus. In diesem Entwicklungsstadium überdauern sie im Winter. Im Frühjahr, bei 0 – (+5) °C kann das Wachstum wieder aufgenommen werden. Die Rosettenblätter sind hellgrün gefärbt und stark behaart. Die Blütenstände sind doldentraubig und blühen gelblich. Eine Befruchtung erfolgt aufgrund Selbststerilität über Fremdbefruchtung durch Insekten. Rübsen bilden ihre feinen Samen von knapp 2 – 4 g in Schoten aus (GEISLER, 1991; THOME, 2007).

Winterrüben sind relativ spätsaatverträglich und können deshalb ab Anfang bis Mitte September in 1 – 2 cm Tiefe ausgesät werden. Saatsmengen für den Zwischenfruchtanbau liegen zwischen 10 -12 kg/ha (Stoppelansaat) oder 13 – 20 kg/ha (KOLBE, 2004). Die Trockenmasseerträge liegen bei 40 – 60 dt/ha, Wurzelmasseerträge reichen bis zu 25 dt/ha. Diese Erträge können aber nur erreicht werden, wenn je nach Standort eine angemessene N- Düngung erfolgt. Im Frühjahr sollten bald Gaben von 80 – 100 kg/ha N verabreicht werden, wenn Rübsen zum Zweck der Verfütterung angebaut werden. Aus rein ackerbaulicher Sicht muss berücksichtigt werden, dass im Frühjahr wegen des Wasserverbrauchs nicht mehr so ein starker Wachstumsschub erwünscht ist. Die Rübsenbestände werden im Frühjahr (April) nach dem Aussaatjahr meist umgebrochen oder beerntet (LÜTKE ENTRUP, 2001; ARBEITSGEMEINSCHAFT NORDDEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN, 2008).

Winterrüben sind das Klima betreffend relativ anspruchslos und dulden auch niedrigere Temperaturen, wenn man bedenkt, dass sie über Winter nicht abfrieren. Durch warme Herbst-

bedingungen können hohe Aufwuchsraten erreicht werden. Es werden mittlere bis bessere Böden bevorzugt, die gut humusversorgt, nicht sauer oder verdichtet sind (KOLBE, 2004).

Vorteile von Rübsen /Kreuzblütlern sind:

- Bindung und Nutzung bereitgestellter Nährstoffgehalte (Stickstoff) in den Wurzeln (kleine Rüben) und somit Schaffung eines wirksamen Schutzes vor Auswaschungsfahr (optimal im Gewässerschutz)
- Durch Einarbeitung der stickstoffreichen Pflanzenbestände im Frühjahr können die Nährstoffgehalte für die Nachfrucht erhöht werden (etwa 80% Vorfruchtwirkung durch Wurzeltrockenmasse)
- hohes Ertragspotenzial und zügige Anfangsentwicklung
- bodendeckender Aufwuchs gewährleistet Erosionsschutz
- tiefgreifende Wurzel erleichtert Durchwurzelung und Wasserversorgung der Nachfrucht
- bevorzugte Nutzung im Zwischenfruchtanbau, aufgrund niedrigen Kostenaufwands und einfacher Bodenbereitung.

(LÜTKE ENTRUP, 2001; KOLBE, 2004)

4. Standortbeschreibung ausgewählter Regionen

Die Untersuchung der Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten soll, neben Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen in den Regionen, exemplarisch, unter Betrachtung dominierender Bodentypen der Landschaften erfolgen. In folgendem Kapitel sollen zunächst wissenschaftliche Informationen über die Regionen und ein kurzer Überblick auf die landwirtschaftliche Nutzung gegeben werden. Abschließend soll eine genauere Erläuterung zu den ausgewählten Bodentypen in den Regionen Hildesheimer Börde, Magdeburger Börde und Lüchow-Dannenberg erfolgen, bevor in Kapitel 5 rechnerisch auf die unterschiedliche Wasserhaushaltung der Zwischenfrüchte eingegangen wird.

Die Bördenstandorte Hildesheim und Magdeburg sind primär durch Lössböden geprägt. Aus diesem Grunde soll im nächsten Abschnitt kurz auf die Ausbildung dieser Lösslandschaften eingegangen werden.

Die Entstehung der Lössböden ist auf eiszeitliche Entwicklungen zurückzuführen, indem es zu Auswehungen von schluffreichem Material kam. In manchen Regionen Deutschlands tre-

ten Schichtdicken von bis zu 40 m auf (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002). In der Hildesheimer und Magdeburger Börde liegen die Lössauflagen bei etwa 2 m.

Löss hat eine gelbliche Färbung und ist carbonhaltig. Er setzt sich aus etwa 10 – 25% Ton, hohen Gehalten an Schluff (65 – 80%) und 10 – 15% Sand zusammen.

Durch Verwitterungsprozesse der Nacheiszeit fand durch Auswaschung der Carbonatgehalte eine Entkalkung der Böden statt. Es setzte eine Verbraunung der Böden ein, indem Eisenoxide gebildet wurden. So entstanden bräunliche Lösslehme. Daraus gingen fruchtbare Böden, wie Braun-, Parabraun- und Schwarzerden hervor, die u.a. in den Bördegebieten zu finden sind. Die Besonderheit dieser dunklen Böden ist, dass sie sich schnell aufwärmen und die Wärme auch halten können. Auf diese Weise kann die Vegetationsperiode und somit die Wachstumsphase für die Pflanzen erhöht werden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002/1979).

In folgender Abbildung wird die Ansammlung von Löss exemplarisch am Beispiel von Sachsen dargestellt.

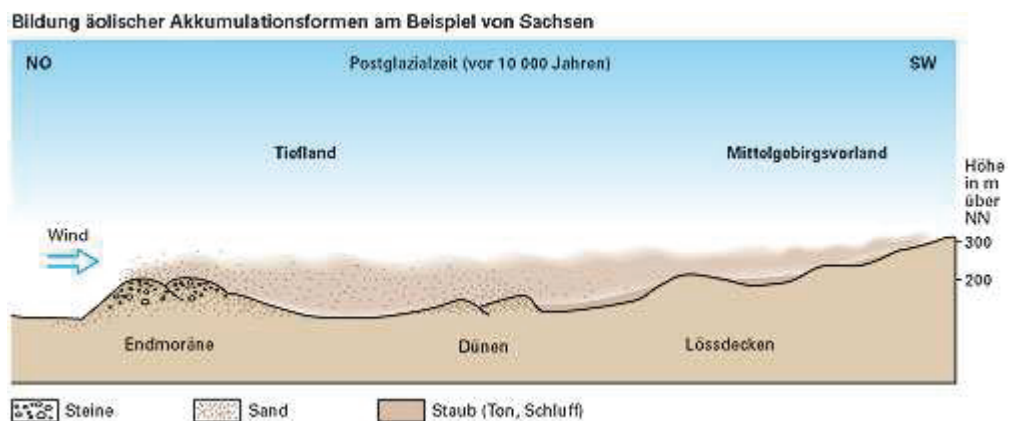


Abbildung 16: Lössakkumulation, 2004

Quelle: KOPPE (a)

4.1. Standortbeschreibung – Hildesheimer Börde -

Die Untersuchung der Anbauwürdigkeit der ausgewählten Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklee und Winterrüben soll für die Regionen des östlichen Niedersachsens, schwerpunktmäßig der Hildesheimer Börde erfolgen (s. unten umkreistes Gebiet).

Um eine nähere Vorstellung von dieser Region, ihrer Lage, Geografie und ihres Klimas zu bekommen, soll die folgende Beschreibung dienen.



Abbildung 17: Wappen Niedersachsens, 2008

Quelle: NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG (a)



Abbildung 18: Übersichtskarte der Landkreise Niedersachsens, 2008

Quelle: NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG (b)

Die Region Hildesheimer Börde: Die Hildesheimer Börde, die auch Braunschweig-Hildesheimer Lössbörde genannt wird, stellt eine Landschaft des im Norden Niedersachsens gelegenen Landkreises Hildesheim dar.

Der Landkreis verbindet die Norddeutsche Tiefebene mit dem Mittelgebirge. Die Höhenlage von Hildesheim beträgt etwa 100 m über NN. Der höchste Punkt liegt im Hils mit etwa 480,4 m über NN und der niedrigste mit 59 m über NN bei Ruthe. Insgesamt ist die Region durch ein hügeliges Relief gekennzeichnet.

Es werden im Jahresdurchschnitt 8,5°C erreicht und die Niederschläge liegen im Mittel bei 600-700 mm (VOSSLER, 1999; WIKIPEDIA, 2008 b).

In Abbildung 19 werden für die Region um Hildesheim und noch weiter östlich liegende Gebiete wie Braunschweig, Wolfsburg und Helmstedt die Bodengroßlandschaften dargestellt. Prägende Bodenregionen sind das Bergvorland mit dem Bördenvorland um Hannover und Braunschweig herum und die eigentliche Lössbörde, die sich weiter südlich von Niedersachsen in Richtung Hildesheim anschließt. Die zweite dominante Bodenregion im Umland von Hildesheim ist neben Höhenzügen durch Beckenlandschaften gekennzeichnet, die ebenfalls fruchtbare Böden aufweisen (LBEG, 2008).

Das Hildesheimer Bördengebiet erstreckt sich über 272 km² und zeichnet sich landwirtschaftlich durch seine wertvollen Schwarzerde- Lössböden aus. Das Gebiet liegt zwischen den Städten Hannover, Peine, Braunschweig, Salzgitter und Hildesheim und ist primär durch landwirtschaftliche Bewirtschaftung geprägt. Wohngebiete sind nur klein und meist gehäuft. Die Hildesheimer Börde gehört zusammen mit der westlich angrenzenden Calenberger und der östlich angrenzenden Magdeburger Börde zur mitteleuropäischen Lösszone, die wie ein Gürtel über die Landschaft verläuft (WIKIPEDIA, 2008 b; LBEG, 2008).

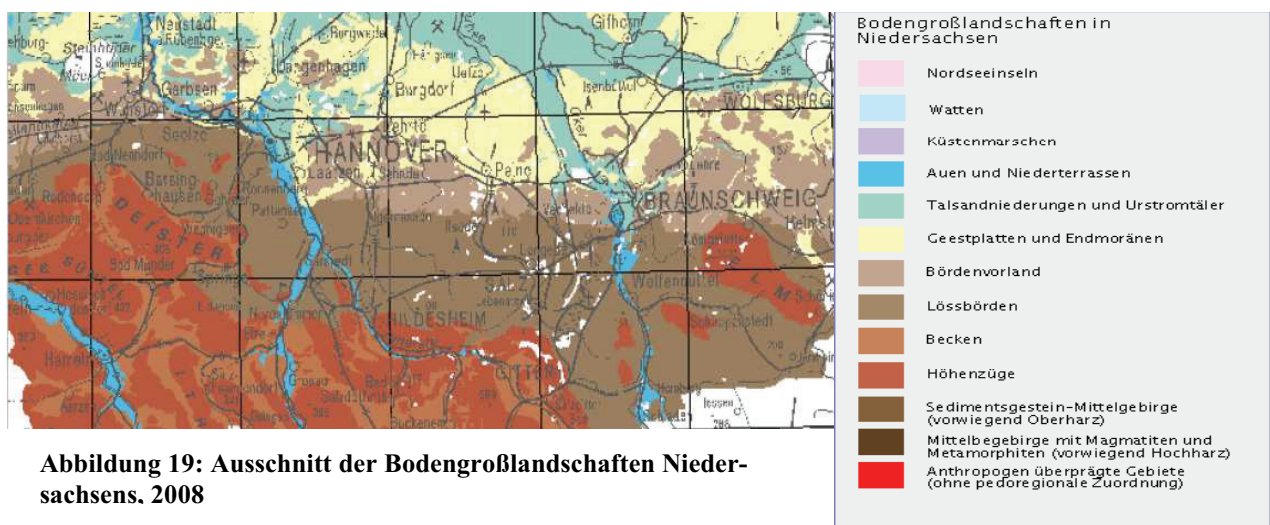


Abbildung 19: Ausschnitt der Bodengroßlandschaften Niedersachsens. 2008

Quelle: LBEG (a)

Die Landwirtschaft: Die Hildesheimer Börde ist aufgrund der hoch ertragsfähigen Böden durch den Marktfruchtanbau geprägt. Die genutzte Landfläche macht circa 68.910 ha aus. Dazu zählen neben der ackerbaulichen Nutzung von 64.559 ha u.a. das Grünland mit etwa 4.144 ha und Dauerkulturflächen mit 176 ha. Wald- bzw. Forstgebiete mit ca. 1.986 ha machen vergleichbar einen geringen Anteil aus. Folgende Grafik soll einen prozentualen Überblick über die gesamte landwirtschaftlich genutzte Fläche geben. Die Null Prozent beim Dauerkulturanbau kommen zustande, weil dieser mit 176 ha sehr gering ausfällt.

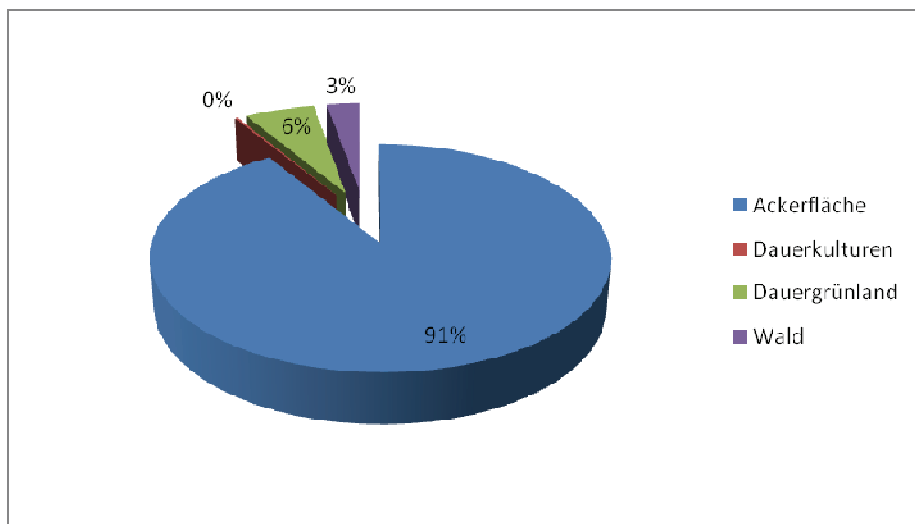


Abbildung 20: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Hildesheim (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Folgende Abbildung dient dazu, die Ackerfläche von 91 % genauer in ihre Nutzungsformen aufzuschlüsseln.

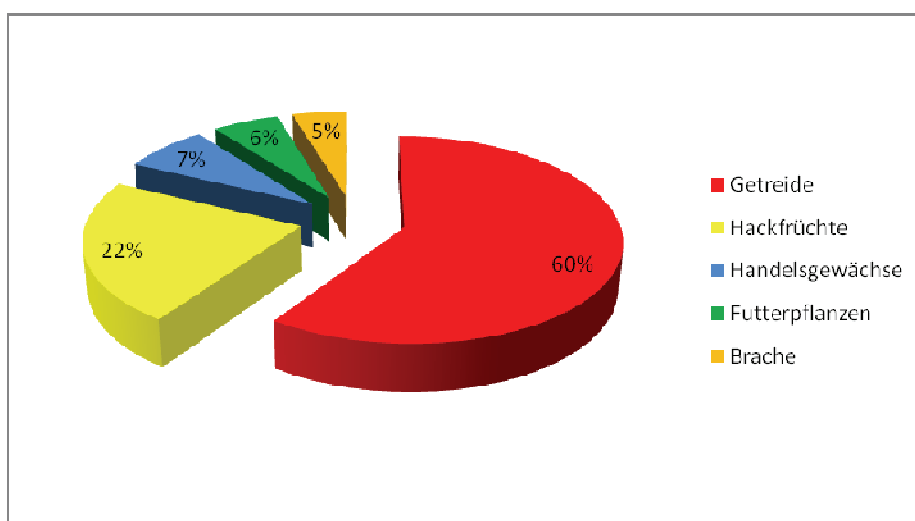


Abbildung 21: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Hildesheim (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Die Böden eignen sich besonders für den Anbau von anspruchsvollen Kulturen wie Getreide (Weizen) und Zuckerrüben. In den nachfolgenden Tabellen soll die Anbauintensität dieser Hauptkulturen und weiterer Anbaukulturen der Hildesheimer Börde aufgezeigt werden. Der Anteil an Brachflächen lag 2007 noch bei insgesamt 3.011 ha. Aber aufgrund des Wegfalls der Prämie werden in Zukunft sicherlich einige Flächen wieder umgebrochen und kulturfähig gemacht (STATISTISCHES LANDESAMT NIEDERSACHSEN).

Tabelle 4: Getreideanbau im Landkreis Hildesheim (2007)

Getreide	Anbau- fläche	Ertrag	
	in ha	je dt/ha	insgesamt in t
Weizen (So-, Wi-)	32.030	79,6	254.985
Roggen	344	50,6	1.740
Triticale	109	67,2	734
Gerste (So-, Wi-)	5.424	64,2	34.821
Hafer	270	44,5	1.202
Körnermais	90	90,5	814
Gesamt	38.267	396,6	294.296

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Tabelle 5: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Hildesheim (2007)

Hackfrüchte/Handelsgewächse	Anbau- fläche	Ertrag	
	in ha	je dt/ha	insgesamt in t
Kartoffeln	743	457,4	33.974
Zuckerrüben	13.726	638,3	876.213
(Sonstige)	49)		
Gesamt Hackfrüchte	14.518		
Winterraps	4.738	33,9	16.062
(Sonstige)	30)		
Gesamt Handelsgewächse	4.768		

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Im Landkreis Hildesheim, bzw. hauptsächlich in der Hildesheimer Börde dominiert im Wesentlichen der Ackerbau. Trotzdem halten auch viele Betriebe landwirtschaftliche Nutztiere. Aber im Vergleich zu Gebieten wie der Lüneburger Heide, die geprägt ist durch leichte Böden und mittlerer Fruchtbarkeit, fällt die Tierhaltung gering aus.

Die nachstehende Tabelle soll einen Eindruck von der Viehhaltung im Landkreis Hildesheim geben.

Tabelle 6: Nutztierhaltung im Landkreis Hildesheim (2007)

Nutztierhaltung	Anzahl der Tiere	Anzahl Betriebe (gesamt: 464)
Rinder	10.904	464
Schafe	6.270	88
Schweine	39.544	126
Hühner	62.714	157
Pferde	1.112	157

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Bei so fruchtbaren Böden wie im Großraum Hildesheim und der Börde ist es von großer Bedeutung bodenverbessernde Produktionsmethoden durchzuführen, um die biologische Aktivität und Leistungsfähigkeit der Böden möglichst lange zu erhalten.

In den Bördengebieten werden bereits auf insgesamt 4.326 ha Zwischenfrüchte angebaut. Davon fallen etwa 233 ha auf den Anbau für Futterzwecke. Die verbleibenden Anbaumengen entfallen auf die Zwischenbegrünung im Ackerbau. Grund für derartig hohe Anbaumengen von Zwischenfrüchten ist aber auch die Tatsache, dass die Hildesheimer Börde aufgrund guter Böden Kernanbaugebiet für Zuckerrüben ist. Der Zwischenfruchtanbau dient somit in dieser Region primär der Reduzierung der Nematodenproblematik in den Rübenbeständen.

Bis vor einem Jahr mit Auslauf der fünfjährigen NAU-Verträge zur Mulchsaat, war der Anbau von Zwischenfrüchten in Niedersachsen sogar verpflichtend gewesen (STATISTISCHES LANDESAMT NIEDERSACHSEN, 2007; LEHRKE, 2008).

Bodentypen der Region: Für das Gebiet Hildesheim/ Hildesheimer Börde sollen die folgenden drei, in der Region dominierenden, Bodentypen vorgestellt werden:

- **Braunerde**
- **Parabraunerde**
- **Pseudogley**

Die im Text bereits genannten Bodenregionen lassen sich in verschiedene Bodenart- und Gesteinsverbreitungsgebiete eingliedern. Demgemäß liegen die drei Bodentypen nicht immer in reiner Form vor, sondern es treten diverse Mischtypen auf, da sie einem unterschiedlichen Verwitterungsgang und Ausgangsgestein entstammen. Die Entstehung verschiedener Bodentypen ist weiterhin auch von klimatischen Gegebenheiten und der Entwicklungsdauer von Böden abhängig.

Das Bergvorland (Bördenvorland, Lössbörde) lässt sich in Tonstein-, Karbonatstein-, Löss, und Lehmverbreitungsgebiete einteilen. Das Bergland (Lössbecken) weist Lehm- und Lössverbreitungsgebiete auf. In beiden Bodenlandschaften kommen Talsedimente und von Fließgewässern beeinflusste (fluviale) Sedimente vor. Die Höhenzüge des Berglandes gliedern sich in Karbonat-, Silikat-, und Tonsteinverbreitungsgebiete (LBEG, 2008; KOPPE, 2004 b).

Braunerde: Braunerden stellen eine Bodenklasse dar, welcher die Braunerde selbst, die Parabraunerde und die Fahlerde zugeordnet werden können.

Wie in Abbildung 22 ersichtlich besteht die Braunerde aus einem humusreichen Oberboden (Ah) zumeist mit einer organischen Streuauflage (O). Der mineralische Unterboden (Bv) ist bräunlich gefärbt, was auf den Verwitterungsprozess der so genannten **Verbraunung** zurückzuführen ist, bei dem Eisen aus Silikaten freigesetzt wird und Eisenoxide gebildet werden. Ein weiterer bodenbildender Prozess der Braunerden ist die Tonmineralneubildung (**Verlehmung**). Die Übergänge zwischen dem Bv- und C-Horizont sind nicht ganz eindeutig. Allein der Bv-Horizont kann Profiltiefen von bis zu 1,50 m erreichen.

Braunerden sind nacheiszeitlich entstanden und kommen großteils in gemäßigten humiden Regionen vor. Die hohen Niederschlagsmengen sind notwendig für die den Boden charakterisierenden Verlagerungsprozesse. Die Braunerde geht in den Gebieten aus Rohböden wie Rankern, Regosolen oder Pararendzinen hervor.

Das Ausgangsgestein der Braunerden variiert relativ stark und weist demnach auch unterschiedliche Eigenschaften auf. Zu unterscheiden sind Braunerden, die aus Lockergesteinen wie Geschiebemergel (karbonathaltig) hervorgehen und solche, die aus Silikatgesteinen (Granit, Sand) entstanden sind. Erst genannte Böden sind sehr nährstoff- und humusreich mit einer hohen nFK. Sie eignen sich deshalb gut für den Ackerbau. Außerdem sind sie gut feuchtigkeits- und luftführend. Die meisten Braunerden gehen allerdings auf Silikatgesteine zurück. Es handelt sich um sehr flachgründige, skelettreiche Böden, sauer und basenarm. Diese Braunerden sind weniger fruchtbar, haben eine geringere nFK und dienen somit eher der forstlichen Nutzung. Bei guter Düngung und Wasserversorgung können aber auch diese Braunerden landwirtschaftlich ein hohes Ertragspotenzial erreichen.

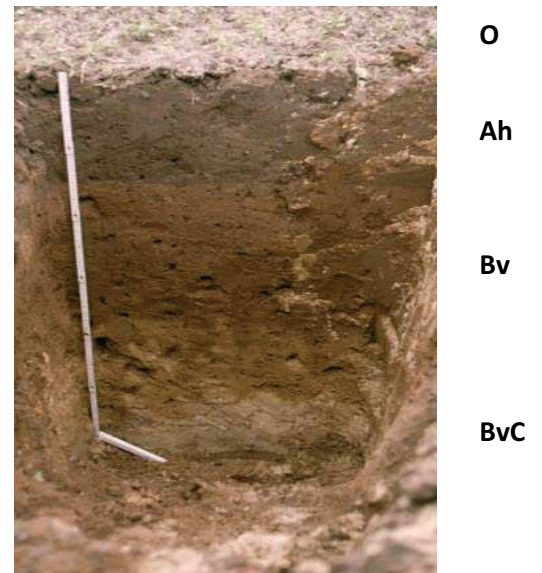


Abbildung 22: Bodenprofil einer Braunerde (Cambisol), 2008

Quelle: UNI MÜNSTER (d)

Über weitere Entwicklungsprozesse der Braunerden können durch Versauerung Podsol-Braunerden entstehen. Dabei werden durch Sickerwasser metallorganische Verbindungen verlagert. Ebenfalls können aus Braunerden Gleye und Pseudogleye entstehen, die aus zunächst entstandenen Zwischenformen (Gley-Braunerden und Pseudogley-Braunerden) hervorgehen.

Das Bodengefüge von Braunerden gestaltet sich sehr unterschiedlich, was auf die verschiedenen großen Anteile der Körnungsfractionen Sand, Lehm, Schluff und Ton zurückzuführen ist. Somit schwanken auch die Nährstoff- und Bodenwassergehalte sehr stark, welches im Wesentlichen die Fruchtbarkeit und Ertragsfähigkeit der Böden beeinflusst (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002; UNI MUENSTER 2008 d).

Im Großraum Hildesheim kommen die reine Braunerde und ihre Mischformen (z.B. Braunerde-Rendzina, Braunerde-Pelosol) direkt in der Lössbörde vor, wobei die hauptsächliche Verbreitung in Gebieten mit Höhenzügen liegt. Hier sind es hauptsächlich nährstoffreiche Braunerden, die auf Karbonatgestein und Tongestein, weniger jedoch auf Silikatgestein zurückzuführen sind. Die Braunerden im Raum Hildesheim sind wenig sandhaltig. Sie enthalten hohe Anteile an Lehm, Schluff und ebenfalls Ton. Die Lehm- und Schluffgehalte bewirken, dass am Standort eine mittlere nFK von bis zu 180 mm erreicht werden kann (LBEG, 2008).

Parabraunerde: Die Parabraunerde gehört, wie schon erwähnt, zur Bodenklasse der Braunerden. Wie sich in Abbildung 23 zeigt, besitzt die Parabraunerde einen relativ mächtigen A-Horizont, der bis zu 60 cm dick sein kann. Der schmale, humusreiche Ah-Horizont ist durch Streuzersetzungsprozesse entstanden (Mull/ Moder). Der Al-Horizont ist aufgrund von Verlagerungsprozessen der Tonfraktionen (Lessivierung) in den Unterboden humusarm und farblich ausgebleicht (fahl). Dieses wird durch Prozesse der Versauerung und Kalkauswaschung verursacht. Die Tongehalte des Unterbodens (Bt-Horizont) werden somit angereichert (3–8 %), wodurch in Zusammenarbeit mit Verbraunungsprozessen die charakteristische dunkel-braun Färbung entsteht. Die Horizontgröße des Unterbodens kann zwischen 40-120 cm betragen.

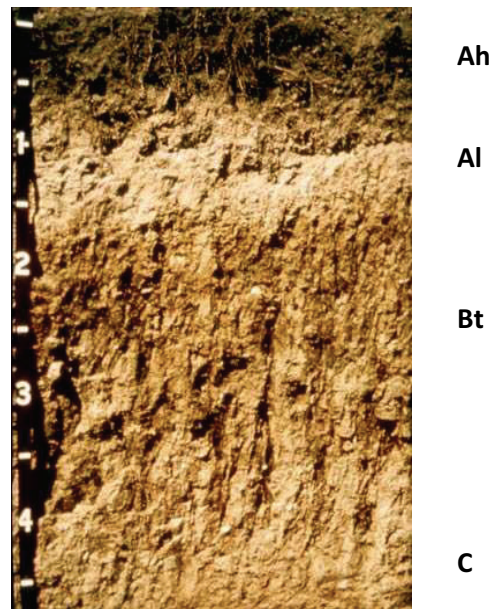


Abbildung 23: Bodenprofil einer Parabraunerde (Luvisol), 2008

Quelle: UNI MUENSTER (e)

Fahlerden unterscheiden sich insofern von der Parabraunerde, als dass sie einen noch deutlicheren Aufhellungsgrad des Oberbodens aufweisen und die Tonanreicherung im Bt-Horizont mehr als 9 – 12 % ausmacht.

Parabraunerden gehen hauptsächlich aus Lockergesteinen (Karbonate), Löss, Geschiebemergel, aus nicht kalkhaltigen Lehmen sowie lehmigen Sanden hervor. Sie kommen in gemäßigt-feuchten Gebieten vor und können hier durch Weiterentwicklung aus Rankern, Rendzinen, Schwarzerden oder auch aus basenreichen Braunerden entstehen. Durch Versauerungsprozesse können aus Parabraunerden zunächst Podsol-Parabraunerden und später Podsole entstehen. Außerdem neigen Parabraunerden unter Einfluss hoher Niederschlagsmengen zu Staunässe und es entwickeln sich resultierend Pseudogleye.

Ähnlich wie bei der Braunerde sind die Eigenschaften des Bodentyps Parabraunerde auf Verwitterungsereignisse und das Ausgangsgestein zurückzuführen. Parabraunerden bestehen je nach Standort aus unterschiedlich großen Mengen der Bodenartfraktionen Sand, Schluff, Lehm und Ton. Im Großraum Hildesheim kommt im Verbreitungsgebiet der Lössbörde und auch in den Beckengebieten die Parabraunerde meist auf Löss, Sandlöss oder Lösslehm vor; ebenfalls enthält sie Gehalte an Ton, was für ein feinporigeres System im Unterboden sorgt. Sandige Parabraunerden weisen statt eines durchgängigen Bt-Horizonts meist Tonbänder auf. Auch bei durch Löss geprägten Parabraunerden werden Bereiche mit höheren oder niedrigeren Tongehalten sichtbar.

Neben reiner Parabraunerde treten im Raum Hildesheim überwiegend auch Pseudogley-Parabraunerden und fruchtbare Schwarzerden auf. Im Bereich der Höhenzüge sind Parabraunerden nur bedingt zu finden. Die vorkommenden Parabraunerden sind meist nährstoffreich, gut durchwurzelbar und luftführend. Sie stellen mit einer hohen nFKWe und meist Bodenpunkten bei 50 und 90 fruchtbare und hocheffiziente Böden dar. Nachteilig ist die Anfälligkeit der Böden für Erosion und die Verdichtung bei Befahren mit schweren Gerätschaften (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002).

Pseudogley: Der Pseudogley ist grundwasserfern und gehört genauso wie der Stagnogley und der Haftpseudogley zu den Stauwasserböden (Stagnosole). Der Staukörper besteht meistens aus sehr feinporigem Bodenmaterial, z.B. einer dichten Tonschicht. Pseudogleye sind durch einen jahreszeitlich wechselnden Einfluss von Feuchte und Trockenheit geprägt. Der Oberboden des Pseudogleys ist in regenreichen Jahreszeiten gut wasserführend (Stauzone); durch sickern des Wasser, welches sich weiter unten im Sd-Horizont (Staukörper) staut, kommt es wegen Sauerstoffmangels zu Reduktionsprozessen und zum Ausbleichen der oberen Bodenschicht (Sw-Horizont). Eisen- und Manganverbindungen werden verlagert und bei Einbruch von Trockenheit im Unterboden (Sd-Horizont) fallen die Verbindungen bei zusätzlicher Oxidation als zum Teil rostige Flecken oder Streifen aus. Pseudogleye haben nur eine schmale, humose Deckschicht (Ah-Horizont). Sie treten hauptsächlich in niederschlagsreichen, gemäßigt humiden Klimaten, aber auch unter tropischen und subtropischen Bedingungen auf.

Sie können auf unterschiedlichen Gesteinsmassen entstehen. Die Primären Pseudogleye sind auf Tonstein zurückzuführen. Sekundäre Pseudogleye entstehen aus Parabraunerden. In Gebieten feuchter Klimate mit hohen jährlichen Niederschlagsmengen kommen Pseudogleye überwiegend in der Ebene, auf Löss und Geschiebemergel vor, wobei sie unter trockenen Bedingungen auf lehmige und tonige Standorte zurückgehen.

Im Raum Hildesheim liegen in den Lehmverbreitungsgebieten der Börde und ebenfalls in den Lössverbreitungsgebieten des Berglandbeckens Pseudogleyböden in reiner Form vor. Im Bereich der Höhenzüge des Landkreises sind hauptsächlich Primäre Pseudogleye in den Tonsteinverbreitungsgebieten zu finden. Ansonsten kommen Pseudogleye häufiger in Übergangsformen vor. In Hildesheim sind z.B. Pseudogley-Parabraunerden weit verbreitet.

Generell sind Pseudogleye im Gegensatz zu Braun- und Parabraunerden weniger fruchtbar und somit für den Ackerbau nur bedingt, unter Einsatz von Drainage- und Tiefenlockerungsmaßnahmen der Böden, verwendbar. Die Einschränkungen in der Bodenfruchtbarkeit sind auf Nährstoff-, Sauerstoff- und Kalkverarmung des Oberbodens zurückzuführen. Zudem ist die

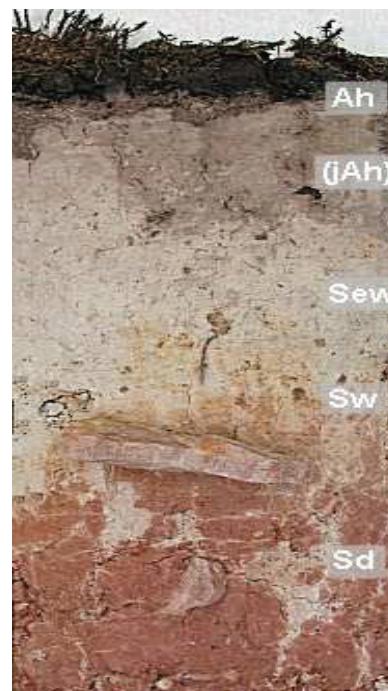


Abbildung 24: Bodenprofil eines Pseudogleys (Stagnic Luvisol), 2008

Quelle: NATURKUNDEMUSEUM KASSEL

Bodenbearbeitung bei starken Niederschlagsereignissen im Frühjahr beeinträchtigt. Pseudogleye dienen sehr gut der Weide- und Waldnutzung.

Die reinen Pseudogleye in Hildesheim erreichen aber teilweise sogar bis zu 250 mm nFK, sind also sehr fruchtbar und können auf den dortigen Standorten für den Ackerbau gut genutzt werden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002; UNI MÜNSTER, 2008 f).

Bei Betrachtung der Gebiete im weiter östlich bzw. nordöstlich gelegenen Bereich Niedersachsens (Braunschweig, Wolfsburg und Helmstedt) sind deutlich landschaftliche Übergänge erkennbar. Von den primär durch Lössböden geprägten Regionen um Hildesheim geht es über das Bördenvorland weiter in die Bodengroßlandschaften der Geest (Moränen, Talsandniederungen, Urstromtäler) und Auen (s. Abbildung 19), wobei Auenböden vereinzelt auch im Großraum Hildesheim wieder zu finden sind.

Entsprechend der Verschiebung der Bodenlandschaften treten auch andere Bodentypen als in der Hildesheimer Börde in den Vordergrund. Braun- und Parabraunerden kommen vor, sind aber nicht primär prägend für diese Gebiete. Vielmehr treten Gleye, Auen-, (Nieder)moor-, Stauwasser und podsolierte Böden auf.

4.2. Standortbeschreibung - Magdeburger Börde -

Sachsen-Anhalt ist zweifelsohne eine landwirtschaftlich geprägte Region in der Bundesrepublik Deutschland, vor allem das westliche Sachsen-Anhalt. Das Kapitel 4.2 soll sich schwerpunktmäßig auf die Magdeburger Börde beziehen. Folgende Abbildung soll eine Vorstellung über die Lage dieser Region geben.



Abbildung 26: Übersichtskarte der Landkreise Sachsen-Anhalts, 2008

Quelle: FERIENWOHNUNGEN



Abbildung 25: Wappen Sachsen-Anhalt, 2008

Quelle: LANDESREGIERUNG
SACHSEN-ANHALT

Die Region Magdeburger Börde: Die Magdeburger Börde bildet die zentrale Landschaft im Westen des Landes Sachsen-Anhalt. Sie erstreckt sich über 931 km² (WISSEN.DE, 2008).

Die Abgrenzungen dieser Landschaft sind überwiegend fließend. Das flachwellige und waldfreie Gebiet zwischen Elbe, Saale, Aller und Bode wird nur im Westen durch die Landesgrenze Niedersachsens von der Hildesheimer Börde und im Süden durch den Harz abgegrenzt. Der geologische Untergrund der Magdeburger Börde besteht aus den Grundmoränen der Saale-Eiszeit. In dieser Zeit kam es zu Überlagerungen von einer ein bis zwei Meter dicken Lössschicht. Durch Witterungseinflüsse entstand daraus die Schwarzerde, die im weiteren Abschnitt näher erläutert wird.

Die Magdeburger Börde liegt im so genannten „Regenschatten des Harzes“, der sich südlich erstreckt. Deshalb zählt dieses Gebiet mit zu den trockensten Anbaugebieten Deutschlands (mitteldeutsches Trockengebiet), jedoch nicht zu den wärmsten und sonnenreichsten (WIKIPEDIA, 2008 (c); GÖBEL, 2008). Durchschnittliche Jahrestemperaturen liegen zwischen 9°C und durchschnittliche Jahresniederschläge bei etwa 500 mm (PFEIFFER, 2008). Die höchste Erhebung stellt mit 147,5 m der Große Wartberg bei Niederndodeleben dar (WIKIPEDIA; 2008 c). Aufgrund der guten fruchtbaren Böden gilt diese Region als ertragsreiches Ackerland für Getreide, Zuckerrüben, Futterpflanzen und Gemüse.

Die Landwirtschaft: Laut statistischer Erhebung lag die Landnutzung im Kreis Börde im Jahre 2007 insgesamt etwa bei 151.010 ha. Darunter fällt mit 2.511 ha eine große Fläche in die Wald- bzw. Forstnutzung. Die ackerbauliche Nutzung machte alleine 134.355 ha aus. Die Dauerkulturen werden aufgrund ihres geringen Anteils nicht angezeigt, da nur 101 ha als Fläche dafür genutzt werden. Die nachstehende Grafik soll einen Überblick auf die Landfläche im Landkreis Börde geben.

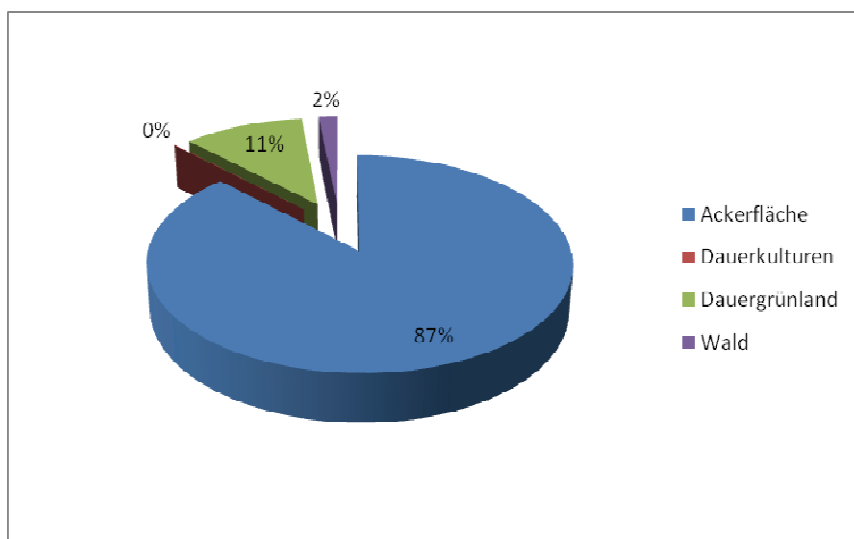


Abbildung 27: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Börde (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT SACHSEN-ANHALT

Die Ackerfläche, von 87%, wird im folgenden Diagramm nochmals aufgeschlüsselt:

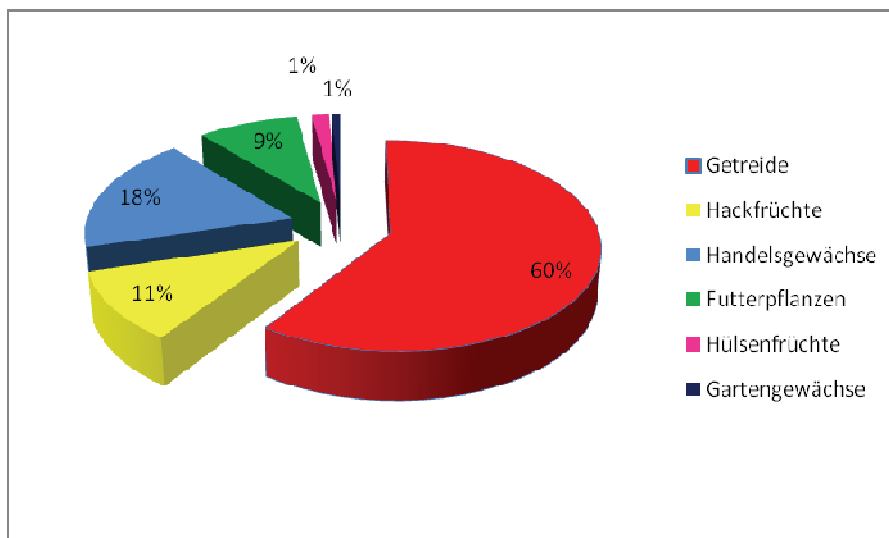


Abbildung 28: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Börde (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT SACHSEN-ANHALT

Nachstehende Tabellen sollen einen Überblick auf die Anbauintensität der Ackerkulturen dieser Region geben:

Tabelle 7: Getreideanbau im Landkreis Börde (2007)

Getreide	Anbau- fläche	Ertrag	
	in ha	je dt/ha	insgesamt in t
Weizen (So-, Wi-)	50.387	74,6	375.887
Roggen	8.979	41,1	36.904
Triticale	1.341	42,5	5.699
Gerste (So-, Wi-)	11.904	54,6	64.996
Hafer	542	38,7	2.098
Körnermais	1.464	86,8	12.708
Gesamt	74.617	338,3	498.291

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT SACHSEN-ANHALT

Tabelle 8: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Börde (2007)

Hackfrüchte/Handelsgewächse	Anbau- fläche	Ertrag	
	in ha	je dt/ha	insgesamt in t
Kartoffeln	3.787	520	196.924
Zuckerrüben	9.832	631,5	620.890,8
(Sonstige)	45)		
Gesamt Hackfrüchte	13.664		
Winterraps	22.328	31,8	71.003,04
(Sonstige)	542)		
Gesamt Handelsgewächse	22.870		

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT SACHSEN-ANHALT

Die rote Markierung zeigt auf, welche Kulturen in der Region Börde schwerpunktmäßig zum Anbau kommen. Im Jahre 2007 wurden 50.387 ha Weizen und 9.832 ha Zuckerrüben angebaut.

Neben dem Pflanzenbau spielt die Nutztierhaltung im Landkreis Börde eine wichtige Rolle.

Tabelle 9: Nutztierhaltung im Landkreis Börde (2007)

Nutztierhaltung	Anzahl der Tiere	Anzahl Betriebe (Gesamt 324)
Rinder	34.973	190
Schafe	9.974	49
Schweine	178.910	89
Hühner	768.420	77
Pferde	834	112

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT SACHSEN-ANHALT

Für die Magdeburger Börde sollen die folgenden drei, in der Region dominierenden, Bodentypen näher beschrieben werden:

- **Braunerde**
- **Pararendzina**
- **Schwarzerde**

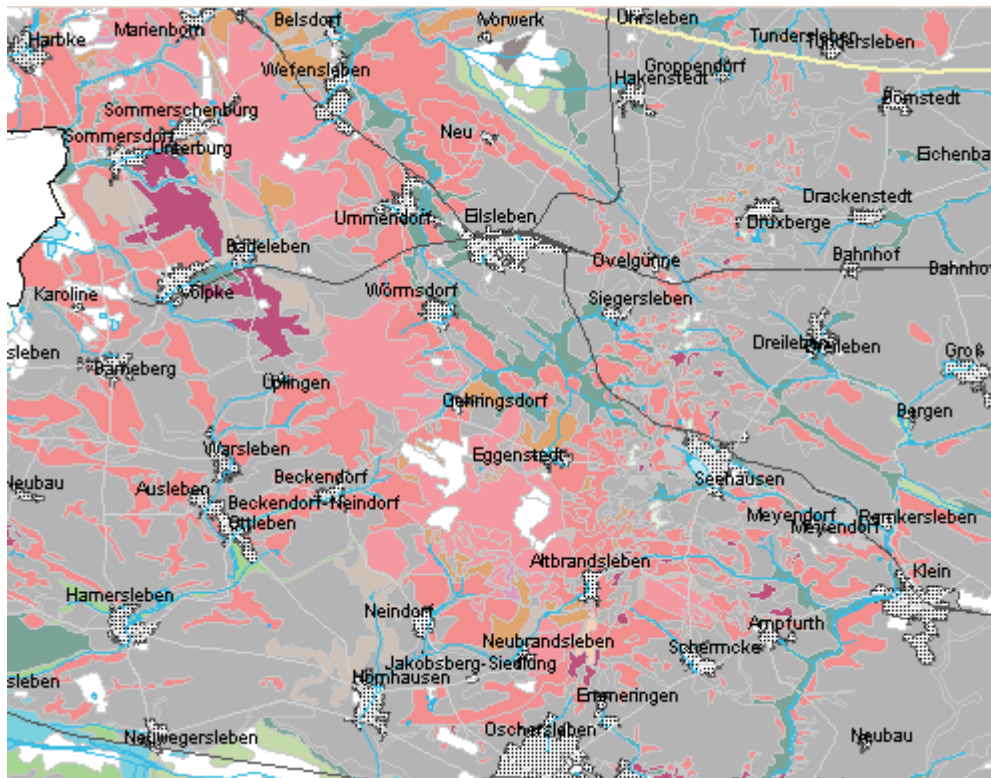


Abbildung 29: Bodenkarte für die Magdeburger Börde, 2008

Quelle: LAGB (a)

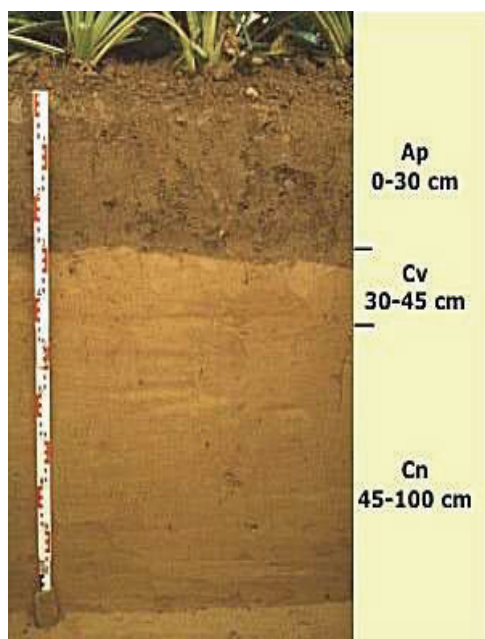
Braunerde: Wie auch in der Region Hildesheim ist die Braunerde ebenfalls in der Magdeburger Börde verbreitet. Dieser Bodentyp wurde bereits in der Standortbeschreibung für die Hildesheimer Börde genauer beleuchtet. Deshalb soll an dieser Stelle ein Verweis auf das entsprechende Unterkapitel (4.1) genügen.

Pararendzina: Pararendzina gehört zu der Klasse der Ah/C Böden und geht auf die Ausgangsmaterialien Sand- oder Lehmmergel zurück. Mergel ist ein Lockergestein, das aus einer Mischung von Ton und Kalk besteht. Zu der oben genannten Bodenklasse zählen ebenfalls die Bodentypen Rendzina, Ranker und Regosol. Sie unterscheiden sich in ihrem Ausgangsgestein. Der Pararendzina aus Geschiebemergel geht durch Erosionsprozesse aus Braunerde oder Schwarzerde unter landwirtschaftlicher Nutzung hervor. Dabei wird das fruchtbare Bo-

denmaterial abgetragen und der erodierte Boden kommt zum Vorschein. Aus dem verbliebenen Substrat bildet sich Pararendzina.

Die oberste Bodenschicht des Pararendzinas kann noch Reste des Bt-Horizonts der Braunerde besitzen, was einen höheren Tongehalt hervorruft. Der Boden hat einen prozentualen Anteil an Kalziumcarbonat von 2-70% (BODENMAGAZIN, 2008; LFL, 2008 a).

Anhand der folgenden Abbildung soll das Profil des Pararendzinas näher erklärt werden:



Der Ap-Horizont, der bis zu 40 cm tief geht, ist charakteristisch dunkelgraubraun und besitzt meist viele Wurmröhren. Wenn dieser humose Oberboden eine Mächtigkeit von 40 cm überschreitet, spricht man vom Tschernosem. Der Cv-Horizont ist braun-gelb und kalkhaltiger als die Krume und hat einen sehr hohen Tongehalt, der im Cn-Horizont abnimmt.

Abbildung 30: Bodenprofil des Pararendzinas, 2008

Quelle: LFL

Die Eigenschaft dieses Bodentyps besteht darin, dass aufgrund des kalkhaltigen und flachgründigen Bodens, dieser eine begrenzte Durchwurzelbarkeit besitzt. Durch den erodierten B-Horizont kann nur wenig Wasser gespeichert werden. Deshalb neigt Pararendzina zu hoher Austrocknung. Er kann sich jedoch schnell erwärmen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002; LAND BRANDENBURG, 2003). Schwarzbrache sollten auf diesen Böden vermieden werden, da Pararendzina stark erosionsgefährdet ist. Vor allem die Wassererosion verursacht den Verlust von Humus und Pflanzennährstoffen, was eine Minderung der Bodenfruchtbarkeit zur Folge hat (s. Kapitel 3.1).

Schwarzerde: Schwarzerde zählt zu den fruchtbarsten Böden. Sie weist einen mächtigen humosen A-Horizont auf. Die Schwarzerden bildeten sich in Europa hauptsächlich aus Löss (HIRSCHBERGER, 2008). Schwarzerde zählt zu den klimaphytomorphen Böden (SCHRÖDER, 1972). Voraussetzung für die Entstehung dieser Böden ist, die Bildung einer Steppenvegetation durch günstige Temperatur- und Klimabedingungen im Frühjahr, die viel organi-

ches Material für die Humusbildung bereitstellt. Im Sommer sterben die Pflanzen ab und im kurzen und feuchten Herbst und im kalten Winter findet nur eine eingeschränkte Mineralisierung der organischen Substanz statt. In der restlichen Zeit kommt es jedoch zu einer starken Humusbildung, insbesondere von Mull (UNI MUENSTER, 2008 g). Durch die Bodenlebewesen werden die über das ganze Jahr entstandenen Humusstoffe in den Boden eingearbeitet. Aufgrund der geringen Niederschlagsmengen in den Steppengebieten kommt es zu wenigen Humusauswaschungen, sodass eine hohe Anreicherung von Nährstoffen im A-Horizont liegt. In tieferen Schichten treten Kalkanreicherungen auf.

Die folgende Abbildung soll die Profilansicht einer Schwarzerde aufzeigen:

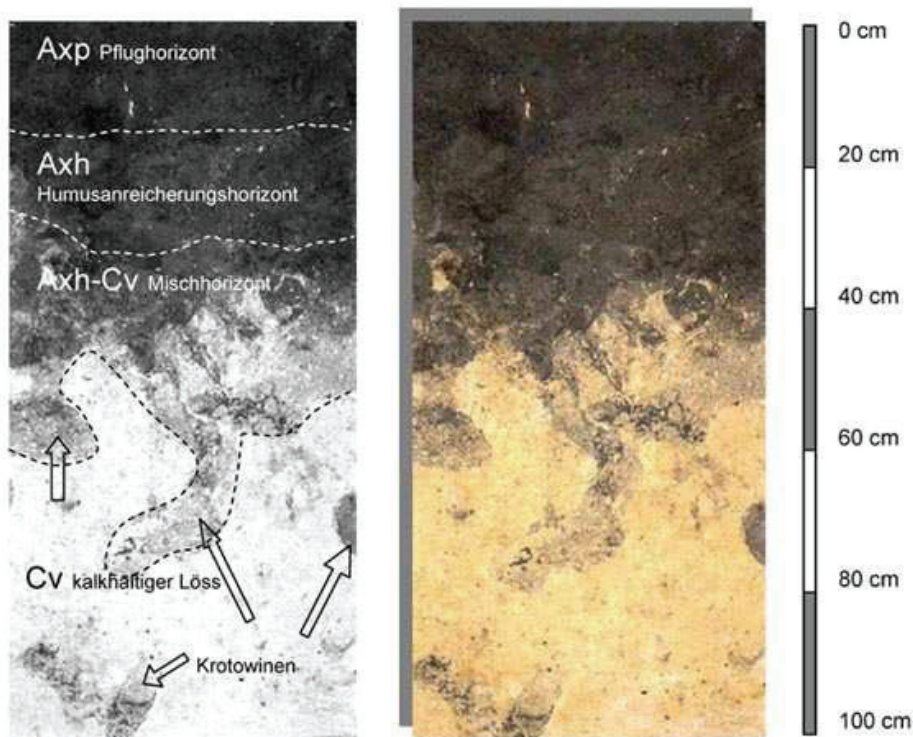


Abbildung 31: Profilansicht Schwarzerde, 2008

Quelle: BGR

Der Boden hat ein Ah-C Profil mit einem bis zu 80 cm tiefen Ah-Horizont. In Mitteleuropa liegen die Tongehalte bei 15 bis 20% (SCHEFFER/SCHACHTSCHBEL 2002) und die Böden sind im oberen Bereich kalkfrei. Der Ah-Horizont besitzt bis zu 10 % organische Substanz. Aufgrund des tiefgründigen Humus ist die Schwarzerde gut mit Nährstoffen ausgestattet und kann daher als sehr fruchtbarer und hochwertiger Ackerboden genutzt werden. Der Oberboden hat einen Anteil von etwa 50% an Mittel- und Grobporen. Dies sorgt für eine gute Durchlüftung und Durchwurzelbarkeit. Die nFK liegt mit über 200 mm hoch, so dass in der

Regel auch bei längeren Trockenperioden die Vegetation überdauern kann. Verbreitung findet dieser Bodentyp im Raum Erfurt-Halle-Magdeburg. Schwarzerden, auch Tschernoseme genannt, sind die wichtigsten Weizenböden der Erde (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002).

4.3. Standortbeschreibung - Lüchow-Dannenberg (Elbe) -

Neben den Regionen des östlichen Niedersachsens (Hildesheimer Börde) und des westlichen Sachsen-Anhalts (Magdeburger Börde), die als primäre Lössstandorte mit verhältnismäßig großer Bodengüte ausgestattet sind, soll außerdem die Region Dannenberg untersucht werden. Dieser Standort liegt im Nordosten Niedersachsens (s. Abbildung 32). Unter Einbezug von Lüchow-Dannenberg sollen den Bördelandschaften (Magdeburg und Hildesheim) Bodenlandschaften entgegen gestellt werden, die eine geringere Bodenwertigkeit aufweisen. Bei Berücksichtigung der Klimabedingungen (vordergründig Niederschläge) werden die Anbauwürdigkeiten der Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklee und Winterrüben auch für solch einen Standort geprüft.

In folgender Beschreibung soll näher auf die Region Lüchow-Dannenberg eingegangen werden, indem kurz ein Überblick auf Geografie, Klima und die landwirtschaftliche Erzeugung gegeben wird.



Abbildung 32: Deutschlandkarte mit Markierung Lüchow-Dannenberg, 2008

Quelle: LÜCHOW-DANNENBERG

Die Region Lüchow-Dannenberg: Lüchow-Dannenberg, auch als das (**Hannoversche**) **Wendland** bezeichnet, stellt deutschlandweit den kleinsten Landkreis dar. Geografisch gesehen grenzt Lüchow-Dannenberg westlich an den Landkreis Uelzen. Im Norden liegen die Landkreise Lüneburg und Ludwigslust. Als am östlichsten gelegener Landkreis Niedersachsens stößt Lüchow-Dannenberg direkt an die Bundesländer Sachsen-Anhalt (Stendal) und Brandenburg (Prignitz). Nach Süden hin schließt der Kreis Salzwedel an.

Dannenberg liegt bereits im Einflussgebiet des kontinentalen Klimas Deutschlands. Der Gohrde-Drawehn-Höhenzug stellt mit 142 m über NN die höchste Erhebung im Kreis Lüchow-Dannenberg dar. Er ist ein wesentliches Landschaftselement, das Lüchow-Dannenberg bezüglich Wetter und Klima nach Westen hin abgrenzt. Den niedrigsten Punkt mit nur 9 m über NN stellen die Gebiete der Elbtalauen dar (WIKIPEDIA, 2008 d).

In der Region werden langjährige Durchschnittstemperaturen von 8,5°C erreicht und die jährlichen Niederschlagsmengen liegen bei 600 mm (LBEG, 2008).

Bei der Abbildung 33 handelt es sich um einen Kartenausschnitt, der die Bodengroßlandschaften im Nordosten Niedersachsens aufzeigt. Die Farbgebung macht deutlich, dass die Region Lüchow-Dannenberg im Wesentlichen durch die drei Bodengroßlandschaften „Auen und Niederterrassen“, „Talsandniederungen und Urstromtäler“ sowie „Geestplatten und Endmoränen“ geformt ist (LBEG, 2008).

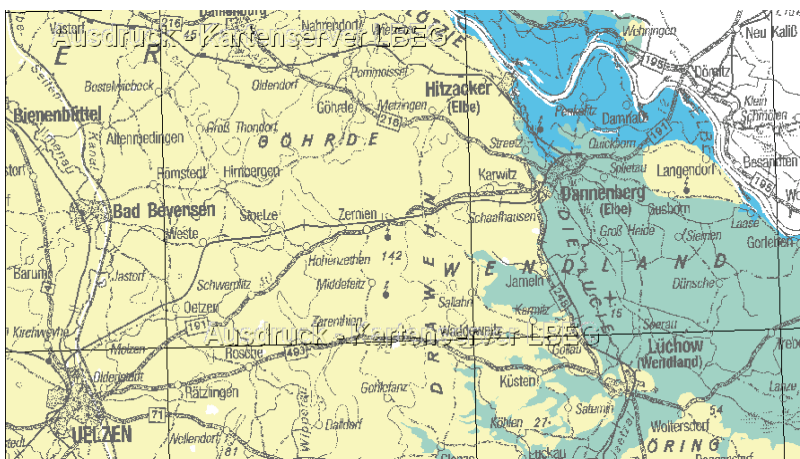


Abbildung 33: Ausschnitt der Bodengroßlandschaften im Nordosten Niedersachsens

Quelle: LBEG

Die Landwirtschaft: Das wirtschaftliche Leistungspotenzial der Landwirtschaft im vor- und nachgelagerten Bereich liegt im Landkreis Lüchow-Dannenberg etwa bei 30% (JUNGE UNION, 2008). Der Standort ist industriell gesehen eher strukturschwach, somit nimmt die landwirtschaftliche Erzeugung eine bedeutende Rolle ein. Eine für den Ackerbau bevorzugte Landfläche stellt die Dannenberger Marsch dar, die mit ihren Elbauenböden relativ fruchtbar ist (WIKIPEDIA, 2008 d).

Nachstehende Grafik soll einen Überblick auf die Landfläche im Landkreis Lüchow-Dannenberg geben.

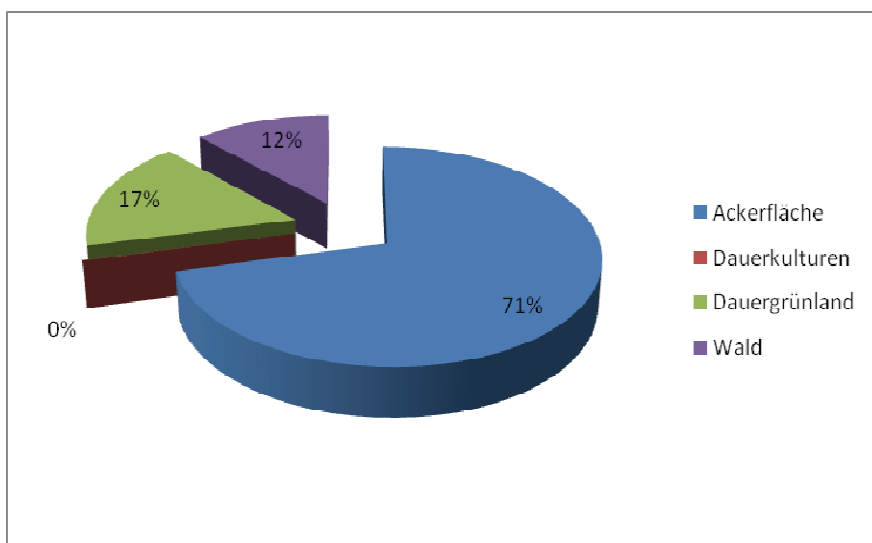


Abbildung 34: Landwirtschaftliche Nutzfläche im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Laut statistischer Erhebung lag die Landnutzung im Kreis Lüchow-Dannenberg im Jahre 2007 insgesamt etwa bei 61.444 ha. Darunter entfällt mit 8.400 ha eine große Flächenmenge auf die Wald- bzw. Forstnutzung. Die ackerbauliche Nutzung machte alleine 49.575 ha aus. Etwa 3.546 ha waren als Brache stillgelegt.

In folgendem Diagramm wird die Ackerfläche, von 71%, noch einmal in ihre Nutzungsformen untergliedert.

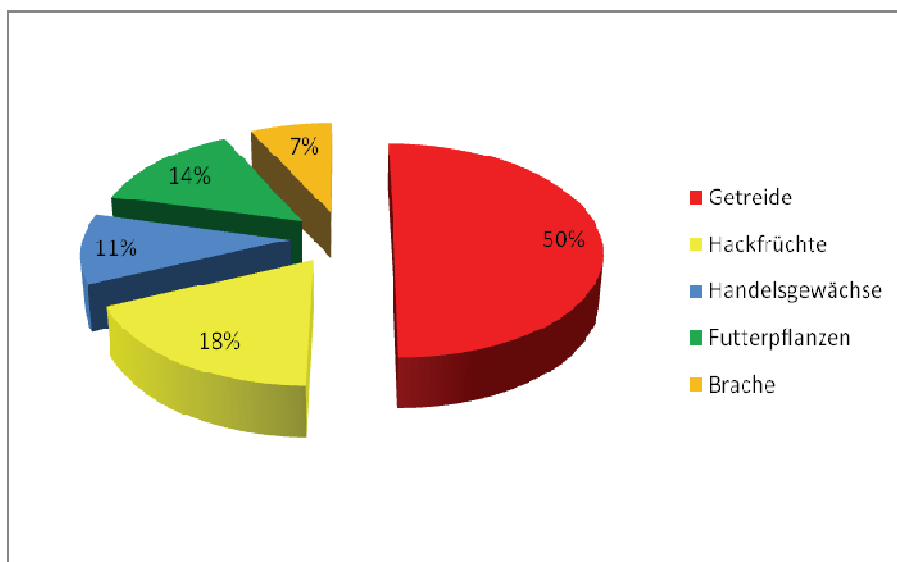


Abbildung 35: Ackerflächenverhältnis im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007)

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Die folgenden Tabellen geben einen Überblick auf die Anbauintensität der Ackerkulturen in der Region Lüchow-Dannenberg:

Tabelle 10: Getreideanbau im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007)

Getreide	Anbaufläche	Ertrag	
	in ha	je dt/ha	insgesamt in t
Weizen (So-,Wi-)	5.044	63,4	31.976
Roggen	8.455	40,5	34.234
Triticale	3.466	55,7	19.299
Gerste (So-,Wi-)	6.292	46,9	29.494
Hafer	679	35,3	2.395
Körnermais	217	83,7	1.820
Gesamt	24.153	325,5	119218

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Tabelle 11: Anbau von Hackfrüchten und Handelsgewächsen im Landkreis Lüchow-Dannenberg (2007)

Hackfrüchte/Handelsgewächse	Anbau- fläche	Ertrag	
	ha	je dt/ha	insgesamt in t
Kartoffeln	6.379	451,2	287.800
Zuckerrüben (Sonstige)	2.441 83)	603,5	147.348
Gesamt Hackfrüchte	8.903		
Winterraps (Sonstige)	4.688 407)	27,5	13.056
Gesamt Handelsgewächse	5.095		

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Die rote Markierung zeigt auf, welche Kulturen in der Region Lüchow-Dannenberg schwerpunktmäßig angebaut werden. Die hohen Anbaumengen von Roggen und Kartoffeln sind auf den primär leichten Bodenstandort zurückzuführen. Roggen kann auch auf weniger guten Standorten angebaut werden, da er nicht so anspruchsvoll ist.

Die nachstehende Darstellung soll einen Eindruck von der Nutztierhaltung in der Region geben:

Tabelle 12: Nutztierhaltung in der Region Lüchow-Dannenberg (2007)

Nutztierhaltung	Anzahl der Tiere	Anzahl Betrieb (Gesamt: 598)
Rinder	22.478	327
Schafe	6.542	58
Schweine	72.523	245
Hühner	42.319	158
Pferde	1.186	173

Quelle: eigene Darstellung, Daten nach STATISTISCHEM LANDESAMT NIEDERSACHSEN

Der Zwischenfruchtanbau auf den leichten Böden der nordöstlichen Gebiete Niedersachsens, zu denen auch Lüchow-Dannenberg gehört, ist sehr umfangreich. Dieses ist auf den hohen Hackfruchtanteil in der Fruchtfolge zurückzuführen. In Dannenberg werden, wie in Tabelle 10 und 11 zu entnehmen ist, große Mengen an Kartoffeln angebaut. Eine Zwischenfrucht dient hier vorzüglich der Nematodeneindämmung. Außerdem wird der Zwischenfruchtanbau an derart leichten Standorten auch bevorzugt zur Bodenverbesserung eingesetzt (LEHRKE, 2008).

Bodentypen der Region: Für das Gebiet Lüchow-Dannenberg sind die folgenden zwei, in der Region dominierenden, Bodentypen ausgewählt worden:

- **Gley**
- **Podsol**

Die oben im Text genannten Bodengroßlandschaften lassen sich in verschiedene Bodenart- und Sedimentverbreitungsgebiete einteilen. Demgemäß liegen die zwei Bodentypen nicht immer in reiner Form vor, sondern es treten Mischtypen auf, die einem unterschiedlichen Verwitterungsgang und Ausgangsgestein entstammen. Die Entwicklungsdauer von Böden und die klimatischen Einflüsse bestimmen wesentlich die Entstehung verschiedener Bodentypen.

Die Auen und Niederterrassen gehören zu den Flusslandschaften. Hier sind auf Talsedimenten und in Talsandgebieten zum Teil fruchtbare Auenböden verbreitet, aber primär Gley und podsolisierte Böden. Die Geestlandschaft ist durch die Talsandniederungen und Urstromtäler geprägt. Auch hier kommen Talsandgebiete und Talsedimente vor. Darüber hinaus gibt es Bereiche mit Lehmverbreitung, sowie Dünen und Flugdecksande.

Ähnlich sieht das Ausgangsmaterial der Geestplatten und Endmoränen aus, die auch in das Landschaftsbild der Geest fallen. Hier sind Teile mit Sandlöss und fließgewässerbeeinflusste Böden zu finden. Regional kommen vereinzelt Lehm- und Sandlössverbreitungsgebiete vor, ansonsten ist der gesamte Landschaftsraum aber primär durch rein sandhaltiges Ausgangsmaterial geprägt.

Die Großlandschaft der Geest macht alleine etwa 64% der Fläche in Niedersachsen aus. Die Urstromtäler und Talsandniederungen gehören zu den grundwassernahen, die Möränengebiete und Geestplatten hingegen zu den grundwasserfernen Böden. Aufgrund eiszeitlicher Entwicklungsprozesse sind die Geestböden relativ nährstoffarm und ertragsschwach, konnten aber durch anthropogenen Einfluss auch ackerfähig gemacht werden (LBEG, 2008).

Auenlandschaften sind sehr fruchtbare Bodenlandschaften, die sich gut als Ackerstandort eignen. Sie entstehen allgemein an Flüssen und Bächen aus den dort vorherrschenden Bodensedimenten. In Lüchow-Dannenberg sind diese Auenlandschaften primär aus der Elbe hervorgegangen. Es handelt sich meist um Sande oder fruchtbare Auenlehme (Vega). Die Ausprägung und Entwicklung dieser Böden ist wesentlich beeinflusst durch den Grundwasserstand, bzw. durch den Wechsel von Gewässerhoch- und Gewässertiefstand (Überflutung und Austrocknung der Fließgewässer). Diesbezüglich können auch durch Überschwemmungen Prob-

leme in der landwirtschaftlichen Nutzung auftreten, denen meist mit einer Eindeichung der Felder entgegengewirkt wird.

Auch weniger fruchtbare Gley-Böden sind in Auengebieten (Auengleye) zu finden (LBEG, 2008; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002; LFL, 2008 b).

Gley: Die in den Geestlandschaften v.a. in den Bereichen der Urstromtäler und Talsandniederungen vorkommenden Gley-Böden, sind wie der Standort vermuten lässt, stark grundwasserbeeinflusst (hydromorph). Dieses wird im nebenstehenden Bodenprofil gut erkennbar. Der Ah-Horizont kann etwa 20 -30 cm mächtig werden und ist grundwasserunbeeinflusst. Der darunter liegende Go-Horizont hat durch Oxidationsprozesse eine rost-braune Farbe. Er ist aufgrund der Verwitterungsprozesse recht ton- und lehmhaltig. Der grau-grünliche Reduktionshorizont (Gr) ist meist stark mit Wasser durchfeuchtet.

Der Grundwasserflurabstand der Böden liegt im Mittel mit ca. 80 cm sehr hoch.

Die Einwirkung des sauerstoffarmen Grundwassers führt zu Reduktionsprozessen von Eisen und Mangan, die durch den kapillaren Grundwasseraufstieg in den sauerstoffreichen Oberbodenbereichen als Oxide ausfallen. Verbindungen von Eisen, Mangan und Sulfiden, die nicht oxidieren, verbleiben im Unterboden und sorgen für die charakteristische schwarz-grau-grün Färbung des Bodens (s. Abbildung 36). Gley-Böden eignen sich bevorzugt für die Forst- und Wiesennutzung. Für den Ackerbau sind sie wegen ihres natürlichen Grundwasserhochstandes nicht geeignet. Dennoch haben Gleye wegen der hohen Tongehalte eine relativ gute Austauschkapazität. Sie sind recht nährstoffreich, weil sie in unmittelbarer Beziehung zu den umgebenen Landböden stehen und über das Grundwasser mit gelösten Nährstoffen versorgt werden können. Allerdings gestaltet sich die Nährstoffverfügbarkeit auf Gley-Böden verhältnismäßig schlecht. Auch die Bearbeitbarkeit bereitet bei zu trockener oder feuchter Witterung Schwierigkeiten und die Pflanzendurchwurzelung ist beeinträchtigt (LBEG; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002; KOPPE, 2004 c; UNI MUENSTER, 2008 h).



Abbildung 36: Profil eines Gleybodens (Gleysol), 2004

Quelle: KOPPE (c)

Podsol: Podsole und podsolierte Böden, die auch als „den“ oder „Asche-Böden“ bezeichnet werden, entstehen überwiegend auf saurem Gestein wie Granit- oder Sandstein. Sie kommen, wie oben erwähnt, in eiszeitlich geprägten Landschaften, z.B. den Sanderflächen in der Geest, vor. Sie können sekundär aus Braun- und Parabraunerden oder direkt aus Regosolen hervorgehen. Das saure Bodenmilieu beeinträchtigt die Bodenzerfallsprozesse, was eine relativ mächtige Humusaufgabe zur Folge hat. Podsole kommen primär in gemäßigten bis kühlen Klimaten mit hohen jährlichen Niederschlagsmengen vor. Der Boden ist gut wasserdurchlässig und somit bewirkt das Sickerwasser eine Verlagerung von Nährstoffen (Eisen, Mangan, Aluminium) und Huminstoffen in den Unterboden (Podsolierung). Somit entstehen der ausgebleichte Oberboden überwiegend aus Quarz bestehend und der rostfarbene Unterboden.



Ah
Ae
Bs
C

Abbildung 37: Profil eines Podsol (Podzol), 2008

Quelle: UNI MÜNSTER (i)

Die Nährstoffanreicherung im Unterboden bewirkt durch das Verschließen von Poren eine verhärtete Bodenschicht, die nur noch schlecht durchwurzelt werden kann. Es entsteht der so genannte Ortstein.

Podsole sind sandige, sehr quarzhaltige Böden. Sie sind aufgrund der sauren Bodenreaktion im durchwurzeln Oberboden verarmt an Nährstoffen. Der Boden eignet sich in seinem natürlichen Vorkommen nur als Waldstandort. Bei guter Düngung, Aufkalkung, Wasserzuführung und bei eventuellem Aufbruch des verfestigten Ortgesteins können diese Böden auch der Ackernutzung zugänglich gemacht werden (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002; LBEG, 2008; UNI MÜNSTER, 2008 i).

5. Untersuchungen: Wasserverbrauch ausgewählter Zwischenfrüchte unter mehrjähriger Betrachtung

In der landwirtschaftlichen Praxis, insbesondere im konventionellen Anbau, ist weitreichend die Meinung verbreitet, dass sich der Zwischenfruchtanbau nicht lohne, zu teuer ist und den Ertrag der Hauptfrüchte aufgrund starker Wasserzehrung mindert. Aus diesen Gründen ist die Schwarzbrache als günstigere Alternative viel verbreitet. Die vorliegende Bachelorarbeit stellt sich der Herausforderung, der oben stehenden Ansicht nachzugehen. In diesem Zusammen-

hang soll in folgendem Untersuchungsteil, unter Einbezug der Informationsgehalte der zuvor stehenden Kapitel, der Wasserverbrauch von Zwischenfrüchten mithilfe geeigneter Rechnungsverfahren analysiert werden. Anschließend sollen in der Schlussbetrachtung und Diskussion eine Erläuterung und Deutung der Ergebnisse erfolgen sowie weiterführende Aussagen über den Zwischenfruchtanbau getroffen werden.

Zunächst sollen die in der Literatur bekannten Zusammenhänge und Meinungen über Zwischenfrüchte und ihren Wasserverbrauch genannt werden.

In Anbetracht der zusehends stattfindenden globalen Klimaverschiebung, die auch an Deutschland nicht ungeachtet vorbeiziehen wird, werden mögliche Klimaveränderungen mit in die Betrachtung zur Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten aufgenommen. Auf diese Weise können auch zukunftsweisende Aussagen getroffen werden.

Wasser stellt ein unentbehrliches Medium für alle Lebewesen auf der Erde dar. Für Pflanzen, darunter auch Zwischenfrüchte, gilt es als ein wesentlicher ertragsbildender Faktor. Bereits die Keimung und das Auflaufen von Pflanzenbeständen sowie später einsetzende Photosynthesestoffwechselprozesse sind abhängig von einer angemessenen Wasserversorgung.

Letztendlich bestimmen vordergründig Anbaumanagement (Anbaudauer, Dichte des Pflanzenbestandes, Saatbettbereitung, Boden-pH), Standort (Klima, Bodenarten, bodenartspezifische Wasserverfügbarkeit, s. Kapitel 2) und pflanzenphysiologische Parameter (Ertragspotenzial, Durchwurzelungsintensität) die Wasserhaushaltung von Pflanzen (FREYER, 2003).

Zwischenfrüchte stellen Glieder einer geschlossenen Fruchtfolge dar. In der Literatur wird ihr Wasserverbrauch sehr kritisch beleuchtet. Allgemein besitzt das Thema große Brisanz und Aktualität in derzeitiger Forschung. Informationsquellen für diese Bachelorarbeit sind in diesem Zusammenhang auch das Landesamt für Landwirtschaft und Gartenbau in Bernburg gewesen, welches kürzlich Versuche zum Wasserbedarf von Zwischenfrüchten durchgeführt hat und die Arbeitsgemeinschaft Versuchswesen im Zuckerrübenanbau Zeitz (Südzucker). Versuchsergebnisse werden aber momentan noch sehr geheim behandelt.

Es ist unumstritten, dass Zwischenfrüchte je nach Art und Anbauform dem Boden während ihrer Vegetationsperiode gewisse Mengen an Wasser entziehen. Ein Ausdruck über die Mengen des gebrauchten Wassers gibt der Transpirationskoeffizient einer Pflanze wieder.

Auf der anderen Seite trägt der Zwischenfruchtanbau aber wesentlich zur Fruchtbarkeit und Speicherfähigkeit eines Bodens bei (s. Kapitel Zwischenfrüchte). Das ausgeprägte Wurzelsystem der Pflanzen versorgt und mobilisiert das Bodenleben, was seinerseits für eine lockere und gute Bodengare mit hoher Wasserspeicherkapazität sorgt. Außerdem ist nicht zu vergessen, dass eine ganzjährige Ackerbegrünung („immergrün“) vor Austrocknung des Bodens schützt. Schwarzbrache dagegen stellt eine freie Angriffsfläche für den Wind da, der die Feuchtigkeit aus dem Boden treibt. Pflanzenfreie Flächen unterliegen auch stärker einer unproduktiven Verdunstung (EHLERS, 1996).

Wie schon oben erwähnt, ist letztendlich primär der Standortfaktor „Klima“ (Niederschläge) ausschlaggebend für die Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten. Regionen mit Jahresniederschlägen zwischen 600 – 700 mm und mittleren Böden eignen sich, laut Literatur, in der Regel ohne weiteres für den Anbau. In Gebieten mit weniger als 600 mm jährlichen Niederschlägen kann der Zwischenfruchtanbau problematisch werden und zudem Wassermangel bei der Nachfrucht mit sich ziehen. In diesen Fällen lässt sich aber der Anbau von Zwischenfrüchten durch Einsparungsmaßnahmen (Bodenbearbeitung, sparsame Fruchtfolgegestaltung) auch bedingt verwirklichen (HAMPL, 1996).

Die Grünpflanzen im Sommerzwischenfruchtanbau frieren meist vor Winter ab und bleiben zum Verdunstungsschutz noch auf dem Acker liegen. Die fallenden Niederschläge über die Wintermonate genügen in der Regel zur Auffüllung des pflanzenverfügbaren Bodenwassergehaltes. Somit hat die Sommerfrucht, die im nächsten Frühjahr ausgesät wird, genug Wasser für ihre Jugendentwicklung.

Wird die Sommerzwischenfrucht allerdings im Herbst noch umgebrochen, um eine Winterung anzubauen, kann die Wasserversorgung für diese Hauptfrucht, als Folge geringer Sommerniederschläge, mangelhaft sein.

Winterzwischenfrüchte zeigen erstes Wachstum im Herbst. Ihre Vegetation wird aber im Frühjahr nach der Vegetationsruhe fortgesetzt. Sie werden im April/Mai geerntet oder umgebrochen. Besonders bei leichten, grundwasserfernen Standorten (Sande) kann ein hoher Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte bewirken, dass die Bodenwassergehalte für die Keimung und Entwicklung der Nachfrucht aufgebraucht sind und bei einem trockenen Frühjahr oftmals nicht nachgefüllt werden. Dieses konnte schon in den letzten Jahren beobachtet werden, weil es immer häufiger zur Frühsommertrockenheit kam (NEFF, 2008; KOLBE, 2004). Problematisch ist, wenn die Zwischenfrüchte im Frühjahr noch zu lange wachsen und viel Wasser ver-

brauchen, weil sie nicht rechtzeitig umgebrochen werden (LÜTKE ENTRUP, 1996). Generell ist der Winterzwischenfruchtanbau aber wenig bedenklich, was den Wasserverbrauch angeht, weil, wie oben schon erwähnt, über den Winter in der Regel genügend Mengen an Niederschlag fallen (KOLBE, 2004; LÜTKE ENTRUP, 1996).

Die sich momentan und in Zukunft abzeichnenden klimatischen Veränderungen werden die Diskussion um den Wasserverbrauch und die Frühsommertrockenheit in der Landwirtschaft noch verschärfen. In diversen Szenarien wird versucht, diesen Klimawandel abzubilden.

Laut Forschung wird von einem Temperaturanstieg von bis zu 3°C in den nächsten hundert Jahren ausgegangen. Temperaturerhöhung bedeutet letztendlich, dass die potenzielle Evaporation ansteigt und somit von den Bodenwasservorräten, die normalerweise für das Pflanzenwachstum zur Verfügung stünden, noch größere Mengen unproduktiv in die Atmosphäre gelangen. Aber auch die Transpiration der Pflanzen fällt dann höher aus.

Weiterhin wird davon ausgegangen, dass im Sommer zukünftig weniger Niederschläge fallen und es somit verstärkt zu Dürreereignissen kommen wird. Die wenigen Niederschläge, die fallen, werden voraussichtlich in Form von Unwettern und Starkniederschlägen auftreten, was schnell eine Überschwemmung zur Folge haben kann.

Es werden zukünftig mildere, aber regenreichere Winter als zuvor erwartet. Das Niederschlagsaufkommen insgesamt wird sich laut der Szenarien nicht verringern, aber die Verteilung der jährlichen Niederschläge wird anders ausfallen (EHLERS, 1996; GERMANWATCH, 2007). Diese Entwicklungen müssen nicht nur im Anbau der Hauptkulturen zukünftig Berücksichtigung finden auch der Zwischenfruchtanbau ist natürlich davon betroffen.

5.1. Hintergrund und Erläuterungen zu den Untersuchungen

Die Untersuchungen bestehen darin, in einem ersten Schritt auf die Wasserhaushaltung der Zwischenfrüchte während ihrer Vegetation einzugehen, indem Wasserbilanzen erstellt werden. In einem zweiten, erweiterten Untersuchungsschritt soll mit Hilfe einer Fruchtfolgeanalyse geprüft werden, wie sich der Bodenwassergehalt und somit das pflanzenverfügbare Wasser während eines Jahres verhält. Dabei sollen auch Aussagen gemacht werden ob im Frühjahr, nach Anbau der Zwischenfrucht, noch genug Wasser im Boden vorhanden ist, um die Keimung und Anfangsentwicklung der folgenden Sommerhauptfrucht gewährleisten zu können. In einer weiteren Fruchtfolgeanalyse soll im Vergleich zum Anbau einer Zwischenfrucht

über den Winter als Alternative die Schwarzbrache herangezogen werden, um ihre Wirkung auf den Bodenwassergehalt zu untersuchen.

Gegenstand der in Kapitel 5.2 und 5.3 stehenden Rechnungen sind die ausgewählten Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklee und Winterrüben (siehe Kapitel 3.3) sowie für die Untersuchung vorgesehene Standorte Hildesheimer Börde (östliches Niedersachsen), Magdeburger Börde (westliches Sachsen-Anhalt) und Lüchow-Dannenberg (siehe Kapitel 4).

Phacelia gilt stellvertretend für den Sommerzwischenfruchtanbau und die Winterrübe als überdauernde Winterzwischenfrucht. Der Inkarnatklee nimmt eine Zwischenposition ein. Er soll sowohl für den Sommer- als auch Winterzwischenfruchtanbau näher untersucht werden. Auf diese Weise können parallel die beiden Zwischenfruchtformen untersucht werden, um sie in der Auswertung vergleichend gegenüber zu stellen.

Die gezielte Auswahl der Standorte soll ermöglichen, den Zwischenfruchtanbau auf besseren und schlechteren Böden zu untersuchen, um unter Berücksichtigung der klimatischen Bedingungen des Standortes Aussagen machen zu können, auf welchen Böden bevorzugt Zwischenfruchtanbau erfolgen sollte. Hierbei stellen die Bördengebiete, als primäre Lössstandorte, die höherwertigen Bodenregionen und Lüchow-Dannenberg, im nordöstlichen Niedersachsen, die minderwertigere Bodenregion dar. Der Faktor Boden soll allerdings erst im zweiten Untersuchungsteil (Kapitel 5.3) genauer beleuchtet werden.

Materialgrundlage der nachstehenden Rechnungen sind Erhebungsdaten zum Klima und bodenspezifische Parameter der zu untersuchenden Regionen in Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Nach Auswahl einiger Klimastationen hat der Deutsche Wetterdienst gezielt langjährige Daten (2000- 2008) über Niederschläge und Temperatur für diese Bachelorarbeit zur Verfügung gestellt. Die benötigte bodenkundliche und hydrologische Datenbasis stellten das Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie (LBEG) in Niedersachsen und das entsprechende Institut, das Landesamt für Geologie und Bergwesen (LAGB) in Sachsen-Anhalt bereit. Die langjährige Klimabetrachtung soll die Option ermöglichen, Extremjahre herauszudifferenzieren und diese bezüglich der Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten genauer zu beleuchten und zu ermitteln, ob anhand dieses Zeithorizonts eventuell die prognostizierte Klimaverschiebung beobachtet werden kann.

Um die Wassernutzungseffizienz der Zwischenfrüchte ermitteln zu können, müssen die Transpirationskoeffizienten (TK) der Pflanzen herangezogen werden. In der Literatur sind

sehr unterschiedliche TK zu finden. Die ermittelten Werte sind zum Teil umstritten. Wie schon im Kapitel 2 beschrieben, gibt der TK die Mengen an verbrauchtem bzw. verdunstetem Wasser an, die eine Pflanze benötigt, um 1 kg Trockenmasse zu produzieren. Es werden laut Literaturangabe folgende Transpirationskoeffizienten für die genannten Zwischenfrüchte angenommen:

- **Phacelia:** 171 L/kg TM (KAIMBACHER, 2007)
- **Inkarnatklée:** ~ 700 L/ kg TM (HOFHANSEL, 2007)
- **Winterrübsen:** ~ 500 L/kg TM¹ (GEISLER, 1988)

Neben der Transpiration von Wasser über die Blattoberfläche von Pflanzen stellt die Evaporation die Verdunstung über die Bodenfläche dar. Allerdings handelt es sich hier um einen Wasserverlust, der unproduktiv in die Atmosphäre gelangt und nicht wie bei der Pflanzentranspiration der Substanzbildung dient. Pflanzen- und Bodentranspiration können nur schwer getrennt erfasst werden und werden deshalb in der so genannten Evapotranspiration zusammengefasst, welche eine Komponente der Wasserhaushaltsgleichung darstellt (s. Kapitel Bodenwasser).

Bei sehr dichter Pflanzenbedeckung des Bodens, was durch einen schnellwüchsigen Zwischenfruchtbestand bald erreicht wird, geht die reine Evaporation gegen Null. Es wird ein gewisses Kleinklima im Pflanzenbestand gebildet. Da die Verdunstung neben anderen Einflussfaktoren stark von der Sonneneinstrahlung und damit einhergehenden Temperaturen abhängig ist, kann davon ausgegangen werden, dass die Evaporation im Winter auch eher geringer ist als im Sommer (EHLERS, 1996). Angenommene Werte für Evaporation werden unten im Untersuchungsteil (Kapitel 5.2) berechnet.

Neben den der Literatur entnommenen Transpirationskoeffizienten sollen auch die monatlichen Niederschlagsmengen an den zu untersuchenden Standorten primär in die Berechnungen mit einfließen.

Die Werte zur Sickerwasserrate und dadurch bedingte Auffüllung des Grundwassers sollen in den Berechnungen zunächst unberücksichtigt bleiben. Es sollte jedoch bedacht werden, dass gerade im Winter Sickerwassermengen auftreten. Wenn das Niederschlagsaufkommen so hoch ist, dass die nFK der Böden aufgefüllt wird und somit zusätzliches Wasser anfällt, ist dieses einer abwärts gerichteten Bewegung unterlegen (s. Kapitel Boden und Bodenwasser).

¹ aufgrund der Verwandtschaft von Rübsen mit Raps und einer Zugehörigkeit zur Gattung Kohl, wurde als Grundlage für die Berechnungen ein TK von 500 L/kg TM für die Rübsen herangezogen.

Da überwiegend Flächen grundwasserferner Standorte betrachtet werden, kann der kapillare Aufstieg, der neben Niederschlägen auch die Auffüllung des Bodenwassers beeinflusst, ferner unbeachtet bleiben. Der oberflächliche Wasserabfluss, der überwiegend bei wassergesättigten und gefrorenen Böden, Verdichtung und extremen Hanglagen situationsbedingt auftritt, soll ebenfalls keine Beachtung finden.

Im Folgenden sollen die nutzbaren Feldkapazitäten der drei typischen Böden der Standorte Hildesheim (Börde), Magdeburg (Börde) und Lüchow-Dannenberg aufgeführt werden. Diese Werte sind in der zweiten Untersuchung (Kapitel 5.3) von Bedeutung. Die nähere Beschreibung der Böden ist bereits in Kapitel 4 (Standortbeschreibungen) erfolgt.

Die Rechnung zu den Fruchtfolgeszenarien soll aus vereinfachten Gründen jeweils nur am Beispiel eines dieser Bodentypen erfolgen. Es sollen Aussagen über die Anbaugüte von Zwischenfrüchten auf den jeweiligen Böden getroffen werden, um unter Einbezug der örtlichen Witterungsbedingungen die allgemeine Vorzüglichkeit dieser Regionen als Anbaustandorte herauszustellen.

In der Region Hildesheim sind die drei Hauptbodentypen, Braunerde, Parabraunerde und Pseudogley herausgestellt worden.

Bei den Braunerden liegen die nFK zwischen 120–200 mm. Allerdings muss das unterschiedliche Ausgangsgestein beachtet werden. Die höheren nFK-Werte, die bis an 200 mm heranreichen, liegen in den Karbonatsteinverbreitungsgebieten, aber eher in Höhenlagen. Die auf Silikatgestein entstandenen Braunerden, hier auch an Hanglagen, und die Braunerden auf Tonstein, die direkt in den Bördegebieten liegen, weisen geringere nFK im Bereich von 120–130 mm auf.

Ähnlich wie auch die Pseudogleyböden haben die Parabraunerden in Hildesheim eine mittel bis hohe nFK von 200–250 mm. Hier liegen die Böden mit hoher Wasserverfügbarkeit auch vorwiegend in den Lössverbreitungsgebieten des Berg- und Bergvorlandes.

Die nFK der reinen Pseudogleye weist eine relativ weite Spannbreite von 140 – 250 mm auf. Auch hier müssen die unterschiedlichen Ausgangsgesteinsmaterialien berücksichtigt werden. In den Lehmverbreitungsgebieten der Region Hildesheim sind die hohen Speicherkapazitäten und in den Tonsteingebieten der Höhenzüge eher Böden mittlerer nFK zu finden. Die Mischbodentypen, die nicht genauer betrachtet werden, fallen unterschiedlich aus. Es gibt fruchtbarere Pseudogley-Schwarzerden, die bis zu 280 mm nFK erreichen, aber auch Pseudogley-Braunerden im Bereich von 130 mm nFK (LBEG 2008).

Für die Region Magdeburg (Börde) werden wie schon in der Standortbeschreibung in Kapitel 4.2 genannt, die Hauptbodentypen Braunerde, Pararendzina und Tschernosem ausgewählt. Bei der Braunerde in dieser Region handelt es sich um Schluff über carbonathaltigem Lehm-sand. Die Feldkapazität des Bodens beträgt 450 mm. Davon sind für die Pflanze nur 260 mm nutzbar.

Die nutzbare Feldkapazität des Pararendzinas liegt im A-Horizont bei 210 mm. In den untersten Schichten nimmt die nFK ab und schwankt zwischen 190 und 80 mm. Jedoch spielt nur der obere Bodenabschnitt bis zu 60 oder 80 cm Tiefe für die Pflanzen eine entscheidende Rolle. Die gesamte Speicherkapazität bis zur Sättigung des Bodens beträgt 320 mm. Der Pararendzina in dieser Region wird als carbonathaltiger Lehm über Sandstein charakterisiert.

Tschernosem besteht hauptsächlich aus Schluff und weist in der Region eine Feldkapazität von 450 mm auf. Die pflanzenverfügbaren Wassermengen liegen hier im Bereich von 260 mm.

Folgend sollen die nFK der ausgewählten Böden der Region Lüchow-Dannenberg aufgeführt werden. Die Gley-Böden weisen nur eine geringe bis mittlere nFK auf, die maximal bei 160 mm in den Bereichen der Flusslandschaften liegt, aber häufiger, besonders in den Sandergebieten, niedriger ist bei 70-80 mm. Die reinen Podsolböden liegen zwischen 90–120 mm, wobei Mischformen wie der Podsol-Gley auch noch mit geringerer nFK bei 70 mm ausfallen können.

Unter Betrachtung der bodenkundlichen Datenauswertung des LBEG und der in der Region vorkommenden Bodenlandschaften, die primär sandbetont sind, kann allgemein auf eine geringe bis mittlere nFK geschlossen werden (LBEG, 2008).

Laut Kennwertklassifizierung gilt für die nFKWe folgendes:

Tabelle 13: Kennwertklassifizierung der nFKWe, 2008

<= 60 mm	sehr gering
> 60 – 140 mm	Gering
> 140 – 220 mm	Mittel
> 220 – 300 mm	Hoch
> 300 mm	sehr hoch

Quelle: LBEG (b)

Daraus ergibt sich, dass die Region Hildesheim (Börde) mit einer Wasserverfügbarkeit der Böden, die von gering bis hoch reicht, zusammenfassend als guter Ackerstandort eingeordnet werden kann.

Für die Region Magdeburg gilt ähnliches, sodass auch dieser Standort gute ackerbauliche Grundvoraussetzungen stellt.

In der Region Dannenberg liegen die nutzbaren Feldkapazitäten geringer als in den Bördengebieten, da sie zwischen 70 und 120 mm teilweise auch 160 mm schwanken. Der Anbauort ist bezüglich seiner Bodengüte somit weniger attraktiv.

Anhand der vom Deutschen Wetterdienst verfügbaren Niederschlags- und Temperaturdaten werden Klimadiagramme (s. Anhang I, Klimadiagramme 1-3) erstellt, die als Hilfsmittel für die Untersuchungen gelten. Für die Region östliches Niedersachsen wird die Klimastation Hildesheim und für das westliche Sachsen-Anhalt die Klimastation Magdeburg verwendet. Da der DWD keine entsprechende Klimastation für Dannenberg unterhält, wurde die nächstgelegene Klimastation Lenzen (Elbe) ausgewählt.

5.2. *Untersuchungsteil 1: Wasserbilanzen für die Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklee und Winterrüben*

Um herauszufinden, wie hoch der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte in den einzelnen Regionen ist, wird neben den Niederschlägen, die Evaporation und die Transpiration der Pflanzen benötigt. In vielen Literaturquellen wird diese, wie in Kapitel 2 schon erwähnt, zusammengefasst. Für diese Arbeit ist es jedoch zweckmäßig, die beiden Komponenten getrennt von einander zu betrachten.

Ausgehend von der Quelle BAILLY (2008) liegt die Evapotranspiration im Hochsommer (Juni-August) in Mitteleuropa zwischen 4-6 mm pro Tag. Als Basis für die folgenden Berechnungen soll ein Zeitraum für den Sommer zwischen April bis September und ein sich daraus ergebender Winterzeitraum von Oktober bis März angenommen werden.

Die oben genannten Angaben für die Evapotranspiration sind für diese Rechnung nicht realistisch, da hier ein längerer Zeitraum für den Sommer betrachtet wird, in welchem durchschnittlich gesehen nicht so hohe Sonneneinstrahlungen und Temperaturen erreicht werden wie in den drei Hochsommermonaten.

Deshalb wird für diese Rechnung ein geschätzter Evapotranspirationswert von 3 mm zugrunde gelegt. Hingegen im Winter wird von einer niedrigeren Verdunstung des Bodens und der Pflanze von 1,3 mm ausgegangen. Zur separaten Betrachtung der Transpiration der Pflanze werden die jeweiligen TK und die Erträge der Kulturen herangezogen.

In folgendem Abschnitt soll am Beispiel des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht (Sommer-Inkarnatklee) die Rechnung zur Ermittlung der Transpiration über den Vegetationszeitraum erklärt werden.

Die Kultur hat einen TK von etwa 700 l/kg TM und einen Ertrag von 25 dt/ha. Zunächst wird der Ertrag umgerechnet in kg/ha, somit ergeben sich 2.500 kg/ha. Diese werden mit dem Transpirationskoeffizienten multipliziert. Daraus ergibt sich ein Wasserverbrauch von 1.750.000 l/ha, was 175 l/m² (=mm) entspricht. Dieser Wert stellt die gesamte Verdunstung in der Vegetationsperiode dar, die bei Inkarnatklee 50-60 Tage beträgt. Auf einen Tag bzw. Monat bezogen, verbraucht dann die Pflanze 2,92 mm bzw. 87,5 mm (175 mm/60 Tage bzw. /2 Monate).

Im Folgenden werden für die restlichen Kulturen und ebenfalls für den Sommer-Inkarnatklee, anhand der oben beschriebenen Vorgehensweise, Rechenschemata erstellt:

Formel 1: Berechnung des Wasserverbrauchs des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht während der Vegetationsperiode

Ertrag: 25 dt/ha TM	
TK: 700 l/kg TM	
Transpiration der Pflanze	= 25 dt/ha TM * 100 = 2.500 kg/ha TM * 700 l/kg TM = 1.750.000 l/ha /10.000 = 175 l/m² (mm)

Formel 2: Berechnung des Wasserverbrauchs des Inkarnatklee als Winterzwischenfrucht während der Vegetationsperiode

Ertrag: 38 dt/ha TM	
TK: 700 l/kg TM	
Transpiration der Pflanze	$= 38 \text{ dt/ha TM} * 100$ $= 3.800 \text{ kg/ha TM} * 700 \text{ l/kg TM}$ $= 2.660.000 \text{ l/ha} / 10.000$ $= \mathbf{266 \text{ l/m}^2 \text{ (mm)}}$

Formel 3: Berechnung des Wasserverbrauchs des Phacelias während der Vegetationsperiode

Ertrag: 38 dt/ha TM	
TK: 171 l/kg TM	
Transpiration der Pflanze	$= 38 \text{ dt/ha TM} * 100$ $= 3.800 \text{ kg/ha TM} * 171 \text{ l/kg TM}$ $= 649.800 \text{ l/ha} / 10.000$ $= \mathbf{64,98 \text{ l/m}^2 \text{ (mm)}}$

Formel 4: Berechnung des Wasserverbrauchs der Winterrüben während der Vegetationsperiode

Ertrag: 50 dt/ha TM	
TK: 500 l/kg TM	
Transpiration der Pflanze	$= 50 \text{ dt/ha TM} * 100$ $= 5.000 \text{ kg/ha TM} * 500 \text{ l/kg TM}$ $= 2.500.000 \text{ l/ha} / 10.000$ $= \mathbf{250 \text{ l/m}^2 \text{ (mm)}}$

*Die Ertragsdaten sind den Artenbeschreibungen der Zwischenfrüchte zu entnehmen.

Tabelle 14: Übersicht zu den Transpirationswerten der Kulturen

Kultur	Transpiration in der Vegetationsperiode in mm	Vegetationszeitraum	Transpiration pro Monat in mm	Transpiration pro Tag in mm
Sommer-Inkarnatklee	175	01.08-30.09 (2 Monate)	87,5	2,92
Phacelia	64,98	15.08-15.10 (2 Monate)	32,49	1,08
Mittelwert				1,68
Winter-Inkarnatklee	266	01.09-15.04 (7,5 Monate)	38	1,18
Winterrüben	250	01.09-15.04 (7,5 Monate)	35,71	1,11
Mittelwert				1,14

Aus den ermittelten Tagesverdunstungswerten der Kulturen werden je nach Anteil ihrer Vegetation an Sommer- bzw. Winterhalbjahr Mittelwerte erstellt, um den durchschnittlichen Wasserverbrauch einer Zwischenfrucht darstellen zu können (s. Anhang II, Teil 4). Die oben genannten Werte für die Evapotranspiration im Sommer (3 mm) und Winter (1,3 mm) und die Mittelwerte der Zwischenfrüchte dienen als Grundlage zur Berechnung der Evaporation im Sommer und im Winter.

Formel 5: Evaporation im Sommer

Evaporation	= 3 - 1,68 mm
	= 1,32 mm/Tag * 30
	= 39,6 mm/Monat

Formel 6: Evaporation im Winter

Evaporation	= 1,3 - 1,14 mm
	= 0,16 mm/Tag * 30
	= 4,8 mm/Monat

Mit Hilfe der Ergebnisse aus den Formeln 1-6 können die Wasserbilanzen über die Jahre 2000-2008 für die einzelnen Zwischenfrüchte regionsbezogen erstellt werden.

Es muss berücksichtigt werden, dass die Vegetationsperioden der Zwischenfrüchte Winter-Inkarnatklees, Winterrüben und Phacelia sich jeweils zu unterschiedlichen Anteilen im Sommer- und Winterzeitraum erstrecken. Sie unterliegen somit unterschiedlich starken Verdunstungsansprüchen des Bodens.

Für die Berechnung der Wasserbilanzen werden zunächst regional die Niederschlagssummen für die Vegetationsperiode der einzelnen Kulturen ermittelt. Von dieser Summe werden die Evaporation und die Transpiration subtrahiert. Die Wasserbilanz stellt also die Summe der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung von Boden und Pflanzen über die Monate hinweg dar. Es wird somit Auskunft über die Wasserhaushaltung der jeweiligen Zwischenfrucht gegeben.

Folgende Tabellen und Grafiken zeigen die Wasserbilanzierung für die Zwischenfrüchte auf. Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht, der eine Vegetationsperiode vom 1. August bis zum 30. September aufweist, hat eine Transpiration von 175 mm (s. Formel 1). In diesem Zeitraum verdunsten über den Boden 79,2 mm ($2 \cdot 39,6 \text{ mm}$).

Aus diesem Grunde ergeben sich für den Inkarnatklees für die einzelnen Stationen folgende Wasserbilanzen:

Tabelle 15: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Hildesheim

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	98	79,2	175	-156,2
2001	191,1	79,2	175	-63,1
2002	109,4	79,2	175	-144,8
2003	113,1	79,2	175	-141,1
2004	120,3	79,2	175	-133,9
2005	118,7	79,2	175	-135,5
2006	103,7	79,2	175	-150,5
2007	246,2	79,2	175	-8

Angaben in mm

Die aus Tabelle 15 resultierende grafische Darstellung (Abbildung 38) stellt die Wasserbilanz des Sommer-Inkarnatklees für die Region Hildesheim dar. Die Niederschlagsmengen der Monate August und September in den Jahren 2000 bis 2007 schwanken zwischen 98 mm im Jahr 2000 und 246,2 mm im Jahr 2007. Die Bilanzen pendeln zwischen einem Defizit in der Wasserbilanz von -156,2 mm und -8 mm.

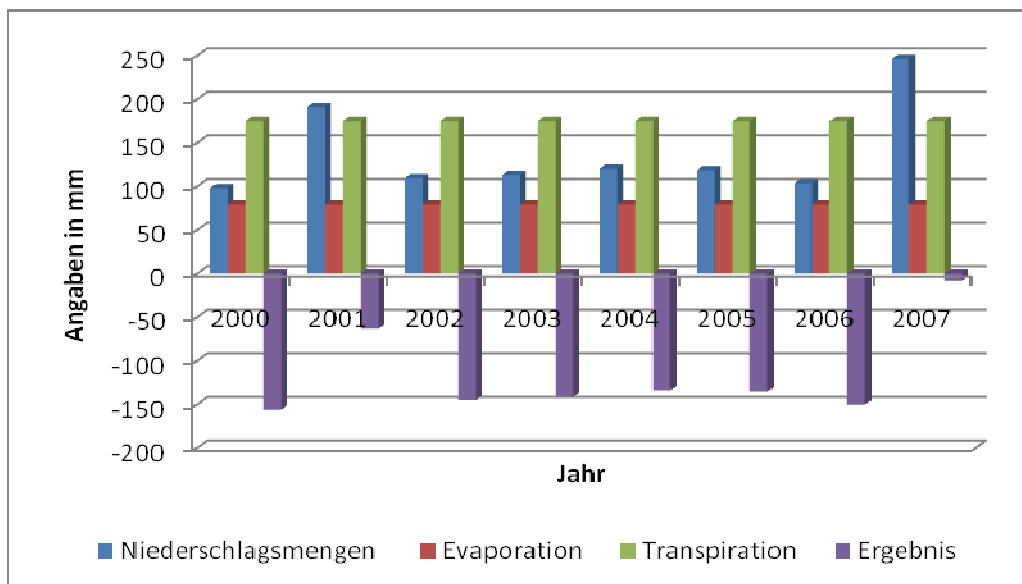


Abbildung 38: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Hildesheim

In der Region Magdeburg, in der die Niederschlagsmengen zwischen 67,7 mm und 190,5 mm liegen, sind aufgrund der Evapotranspiration von 254,2 mm in allen Jahren negative Wasserbilanzen aufgetreten. Sie gehen von -186,5 mm bis - 63,7 mm. Die negativen Bilanzen werden in dem dazugehörigen Diagramm (Abbildung 39) auch durch die lilafarbenen Balken ausgedrückt, die teilweise weit in den negativen Bereich hineinreichen.

Tabelle 16: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Magdeburg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	125,5	79,2	175	-128,7
2001	110,7	79,2	175	-143,5
2002	110,3	79,2	175	-143,9
2003	89,4	79,2	175	-164,8
2004	75,4	79,2	175	-178,8
2005	114,4	79,2	175	-139,8
2006	67,7	79,2	175	-186,5
2007	190,5	79,2	175	-63,7

Angaben in mm

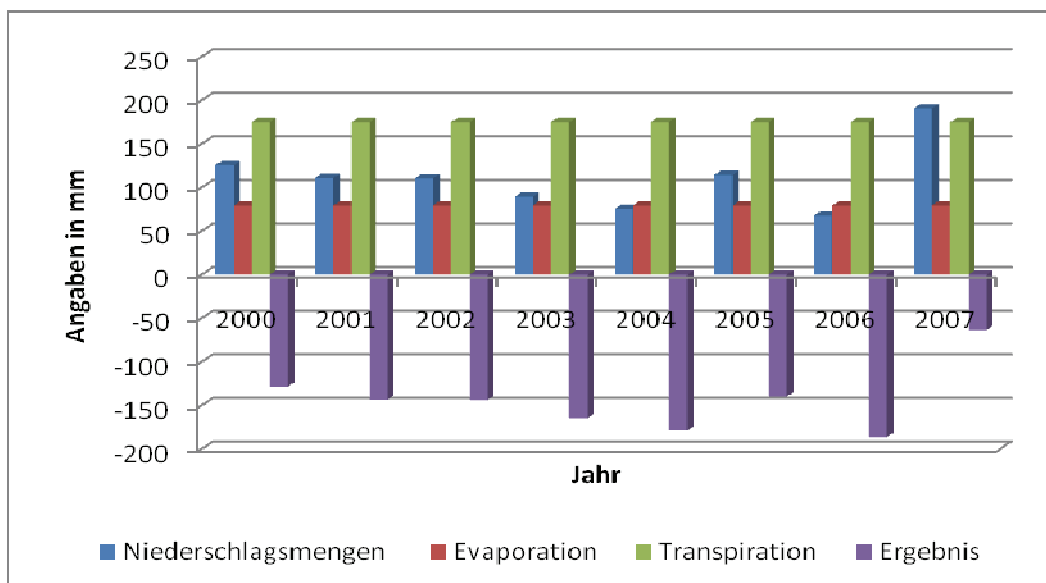


Abbildung 39: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Magdeburg

In der Region Dannenberg, in der die gleiche Evaporation und Transpiration angenommen wird wie in den beiden anderen Stationen, schwanken die Niederschläge zwischen 83,2 und 193,1 mm. Die daraus resultierenden Wasserbilanzen für die Vegetationsperiode liegen in den Jahren von 2000 bis 2007 zwischen -171 mm und -121,1 mm. Eine Ausnahme bildet dagegen das Jahr 2001 mit einer negativen Wasserbilanz von -61,1 mm, die deutlich geringer ausfällt.

Tabelle 17: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Dannenberg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	83,2	79,2	175	-171
2001	193,1	79,2	175	-61,1
2002	121,3	79,2	175	-132,9
2003	90,5	79,2	175	-163,7
2004	111,3	79,2	175	-142,9
2005	86,4	79,2	175	-167,8
2006	87,9	79,2	175	-166,3
2007	133,1	79,2	175	-121,1

Angaben in mm

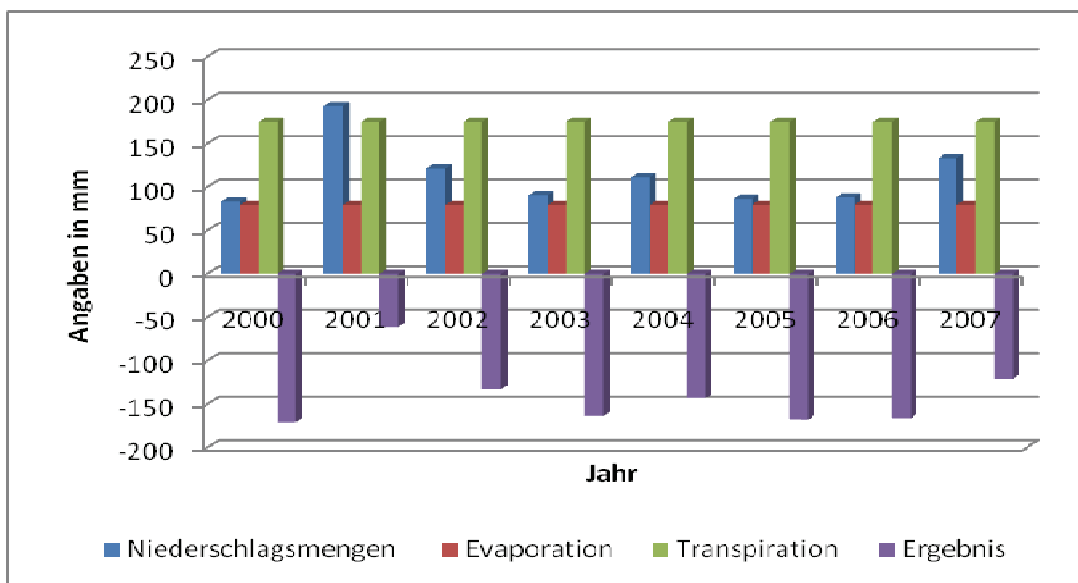


Abbildung 40: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Sommerzwischenfrucht für die Region Dannenberg

Zusammenfassend für alle Regionen ist zu festzustellen, dass die Transpiration des Sommer-Inkarnatklees zum größten Teil höher ist als die fallenden Niederschläge.

Phacelia, als eine weitere Sommerzwischenfrucht, die in der Zeit von 15. August bis 15. Oktober wächst, weist in dieser Zeit eine Transpiration von 64,98 mm auf. Ihre Vegetationsperiode fällt für einen halben Monat in den Winterzeitraum und für eineinhalb Monate in

den Sommerzeitraum, so dass sich daraus eine Evaporation von 61,8 mm ($39,6 \cdot 1,5 + 4,8 \cdot 0,5$) ergibt. Nachfolgend werden für die zu untersuchenden Regionen die Tabellen und Abbildungen aufgeführt:

Tabelle 18: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Hildesheim

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	99,1	61,8	64,98	-27,68
2001	174,3	61,8	64,98	47,52
2002	90,3	61,8	64,98	-36,48
2003	179,3	61,8	64,98	52,52
2004	107,6	61,8	64,98	-19,18
2005	88,1	61,8	64,98	-38,68
2006	85,6	61,8	64,98	-41,18
2007	231,3	61,8	64,98	104,52

Angaben in mm

Für das Gebiet Hildesheim ergeben sich während Vegetation des Phacelias Niederschlagschwankungen zwischen ~ 90 mm und 175 mm in den untersuchten Jahren. Ausnahmen liegen hier in den Jahren 2003 und 2007, in denen die Niederschlagssummen über 175 mm und in den Jahren 2005/2006 unter 90 mm liegen. Werden von diesen Summen die Evaporation und die Transpiration abgezogen, so liegt die Wasserbilanz bis auf die Jahre 2000, 2002 und 2004 bis 2006 im Positiven. Die Bilanz im Jahr 2006, fällt mit ihren -41,18 mm im Verhältnis zu den Jahren (2000, 2004 und 2005) relativ stark negativ aus.

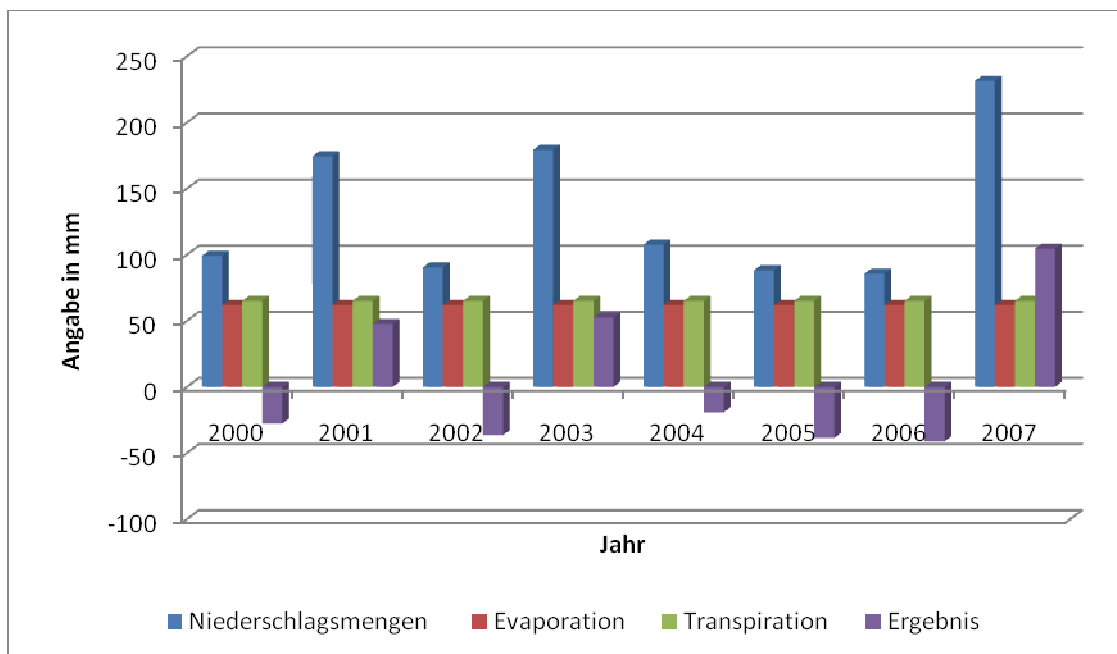


Abbildung 41: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Hildesheim

Tabelle 19: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Magdeburg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	118,5	61,8	64,98	-8,28
2001	102,9	61,8	64,98	-23,88
2002	35,1	61,8	64,98	-91,68
2003	126,8	61,8	64,98	0,02
2004	77,4	61,8	64,98	-49,38
2005	74	61,8	64,98	-52,78
2006	60,2	61,8	64,98	-66,58
2007	180,1	61,8	64,98	53,32

Angaben in mm

Die Abbildung 42 zeigt die grafische Darstellung der Wasserbilanz für die Kultur Phacelia in der Region Magdeburg. Aufgrund der stark variierenden Niederschlagsmengen, die zwischen 35 mm und 180 mm liegen, sind die Ergebnisse sehr unterschiedlich. Sie liegen unter anderem im Jahr 2002 bei -91,68 mm, im Jahr 2007 hingegen bei 53,32 mm.

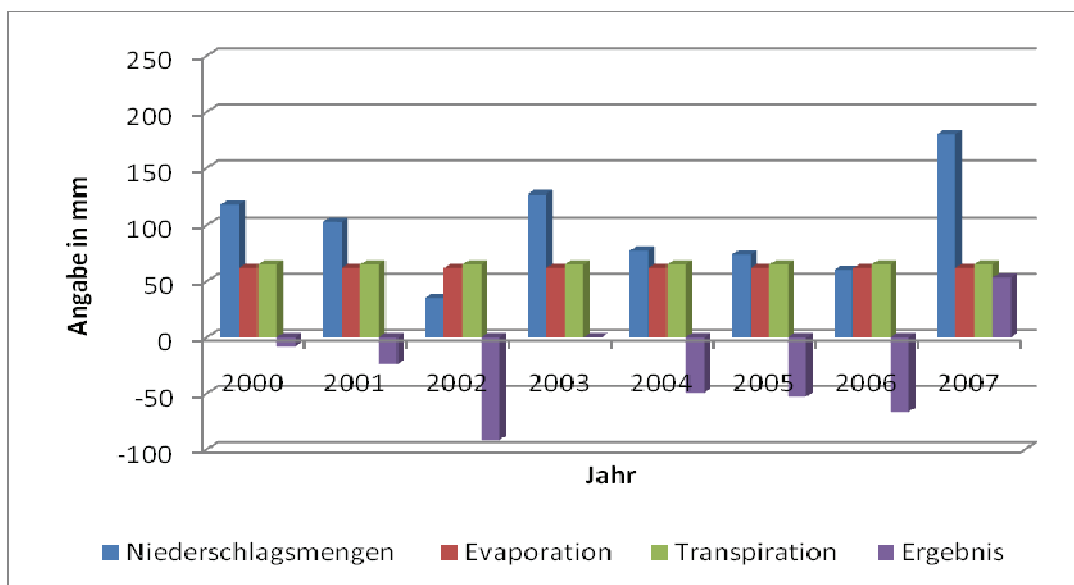


Abbildung 42: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Magdeburg

Im östlichen Niedersachsen (Dannenberg) sind mit Hilfe der Daten des Deutschen Wetterdienstes die Niederschlagssummen für die Monate August bis Oktober errechnet worden. Sie nehmen Werte von 60 mm bis 111 mm an. Das Jahr 2001 stellt mit einer Niederschlagsmenge von 167,7 mm eine Ausnahme dar.

In allen Regionen waren die Niederschläge somit fast immer höher als die Transpiration der Pflanze.

Tabelle 20: Wasserbilanz des Phacelias für die Region Dannenberg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000	92,3	61,8	64,98	-34,48
2001	167,7	61,8	64,98	40,92
2002	61,3	61,8	64,98	-65,48
2003	111,1	61,8	64,98	-15,68
2004	100,9	61,8	64,98	-25,88
2005	75,6	61,8	64,98	-51,18
2006	74,1	61,8	64,98	-52,68
2007	105,5	61,8	64,98	-21,28

Angaben in mm

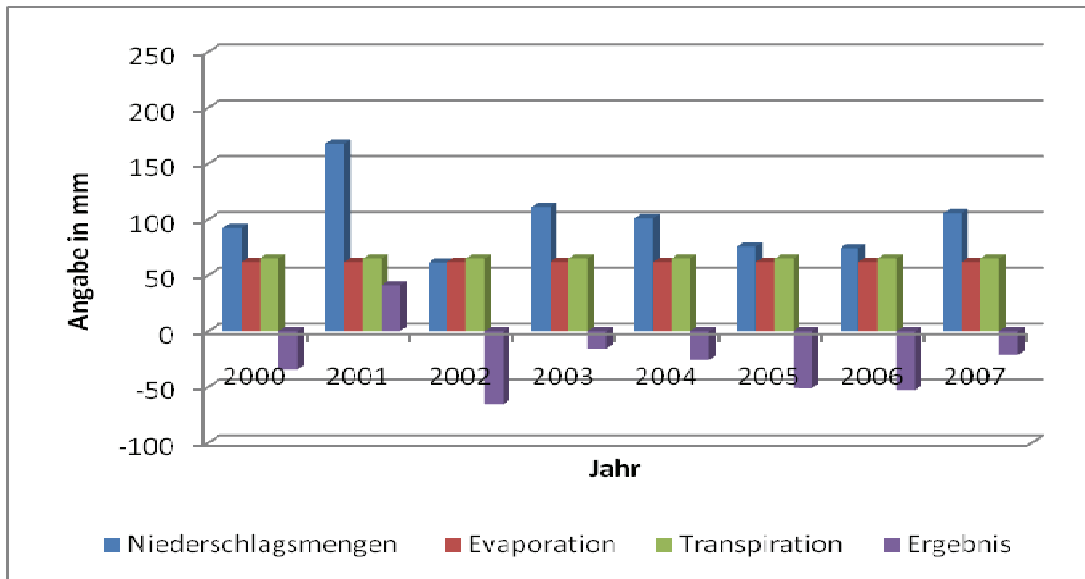


Abbildung 43: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Phacelias für die Region Dannenberg

Neben den zwei Sommerzwischenfrüchten soll auf zwei Winterzwischenfrüchte, den Inkarnatklee und die Winterrübse, eingegangen werden.

Inkarnatklee als Winterzwischenfrucht hat während seiner Vegetation eine Transpiration von 266 mm. Die Vegetationsperiode beträgt bei dieser Kultur 7,5 Monate, genauer gesagt erstreckt sich diese zwischen dem 1. September und dem 15. April des folgenden Jahres. Die

Evaporation während dieser eineinhalb Sommer- und 6 Wintermonate beträgt 88,2 mm ($1,5 \cdot 39,6 + 6 \cdot 4,8$).

Tabelle 21: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Hildesheim

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	392,2	88,2	266	38
2001/2002	576	88,2	266	221,8
2002/2003	479,2	88,2	266	125
2003/2004	537,4	88,2	266	183,2
2004/2005	356	88,2	266	1,8
2005/2006	334	88,2	266	-20,2
2006/2007	390,5	88,2	266	36,3
2007/2008	504,1	88,2	266	149,9

Angaben in mm

Für den Landkreis Hildesheim ergeben sich in der Vegetationszeit des Winter- Inkarnatklees Mindestniederschlagsmengen von 330 mm und maximal werden 576 mm erreicht. Abzüglich der Evapotranspiration von 354,2 mm liegen die Spannbreiten für die Wasserbilanz zwischen -20,2 bis 221,8 mm. Es wurde nur einmal ein negatives Bilanzergebnis im Jahr 2005/2006, erreicht. Die Niederschläge sind immer höher als die Transpiration des Klees.

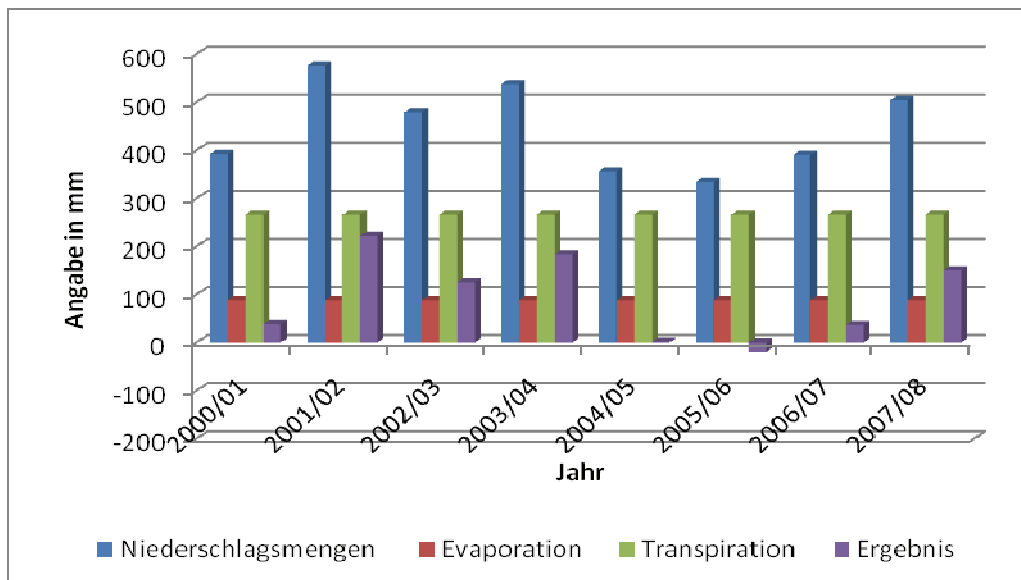


Abbildung 44: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Hildesheim

Tabelle 22: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Magdeburg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	277,5	88,2	266	-76,7
2001/2002	323,2	88,2	266	-31
2002/2003	297,6	88,2	266	-56,6
2003/2004	284,2	88,2	266	-70
2004/2005	224,9	88,2	266	-129,3
2005/2006	280,9	88,2	266	-73,3
2006/2007	251,3	88,2	266	-102,9
2007/2008	364,5	88,2	266	10,3

Angaben in mm

Das westliche Sachsen-Anhalt hat in diesem Zeitraum Niederschlagsmengen von rund 280 mm, jedoch das Jahr 2007/2008 stellt einen Sonderfall mit Niederschlägen von 364,5 mm und einer Wasserbilanz mit 10,3 mm im positiven Bereich dar. Ansonsten sind die Transpiration der Pflanze und die Niederschläge in dieser Region annähernd gleich hoch. Die Wasserbilanzen bis zu -130 mm in den negativen Bereich hinein.

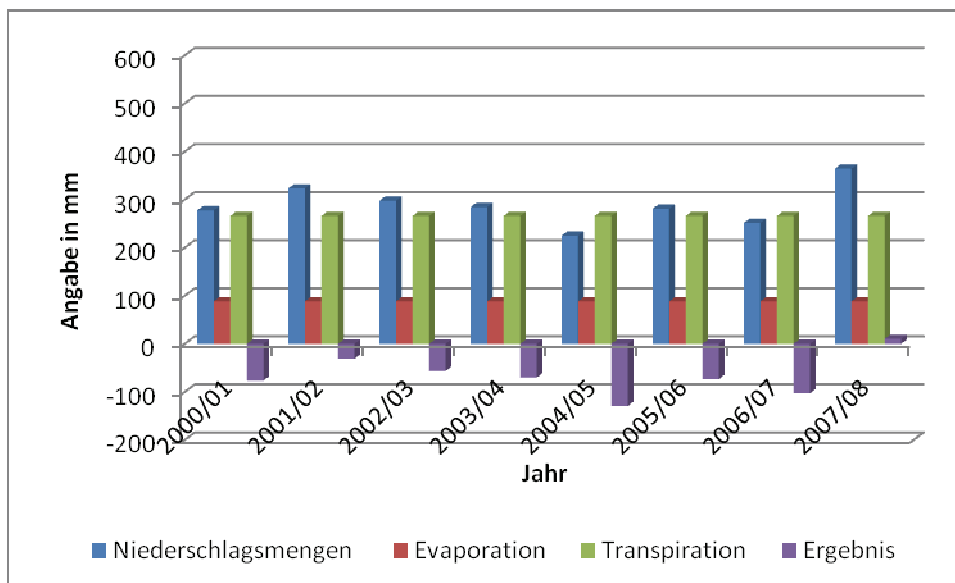


Abbildung 45: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Magdeburg

Tabelle 23: Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Dannenberg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	280	88,2	266	-74,2
2001/2002	508,7	88,2	266	154,5
2002/2003	323,9	88,2	266	-30,3
2003/2004	365,7	88,2	266	11,5
2004/2005	291	88,2	266	-63,2
2005/2006	317,4	88,2	266	-36,8
2006/2007	355,9	88,2	266	1,7
2007/2008	425,6	88,2	266	71,4

Angaben in mm

Die grafische Darstellung zeigt, dass Dannenberg in den letzten Jahren Mindestniederschlagsmengen von 280 mm und Höchstniederschlagsmengen von 508 mm gehabt hat. Die Ergebnisse aus den Differenzen zwischen den Niederschlägen und der Evapotranspiration betragen zwischen -74,2 mm im Jahr 2000/2001 und 154,5 mm im Jahr 2001/2002.

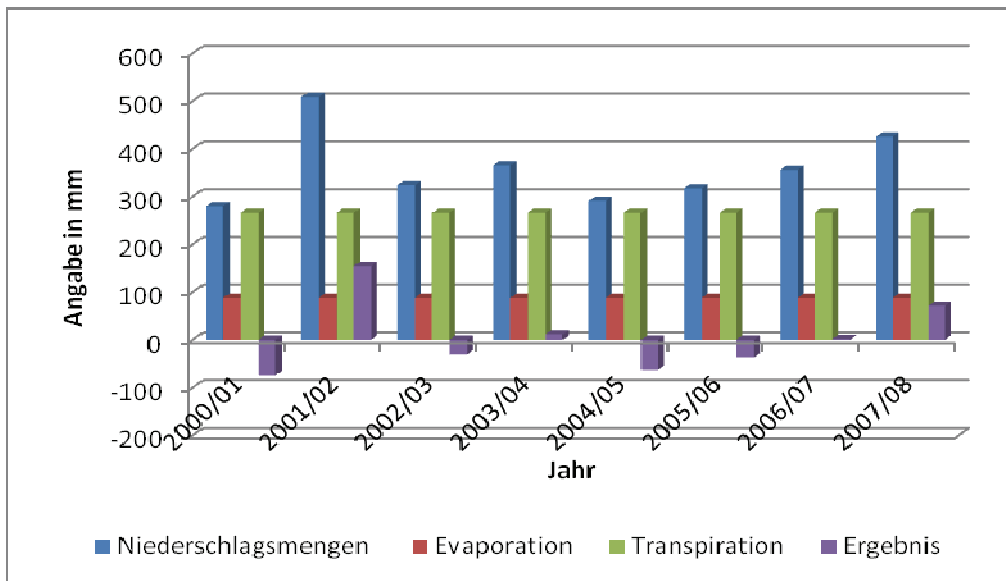


Abbildung 46: grafische Darstellung der Wasserbilanz des Inkarnatklees als Winterzwischenfrucht für die Region Dannenberg

Winterrüben, die den gleichen Vegetationszeitraum haben wie der Winter-Inkarnatklée, zeigen einen ähnlichen Bilanzverlauf wie dieser. Der Unterschied liegt nur in der geringeren Transpiration der Rüben von 250 mm, sodass die Ergebnisse insgesamt etwas positiver ausfallen.

Die folgenden Abbildungen und Tabellen sollen dies zeigen:

Tabelle 24: Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Hildesheim

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	392,2	88,2	250	54
2001/2002	576	88,2	250	237,8
2002/2003	479,2	88,2	250	141
2003/2004	537,4	88,2	250	199,2
2004/2005	356	88,2	250	17,8
2005/2006	334	88,2	250	-4,2
2006/2007	390,5	88,2	250	52,3
2007/2008	504,1	88,2	250	165,9

Angaben in mm

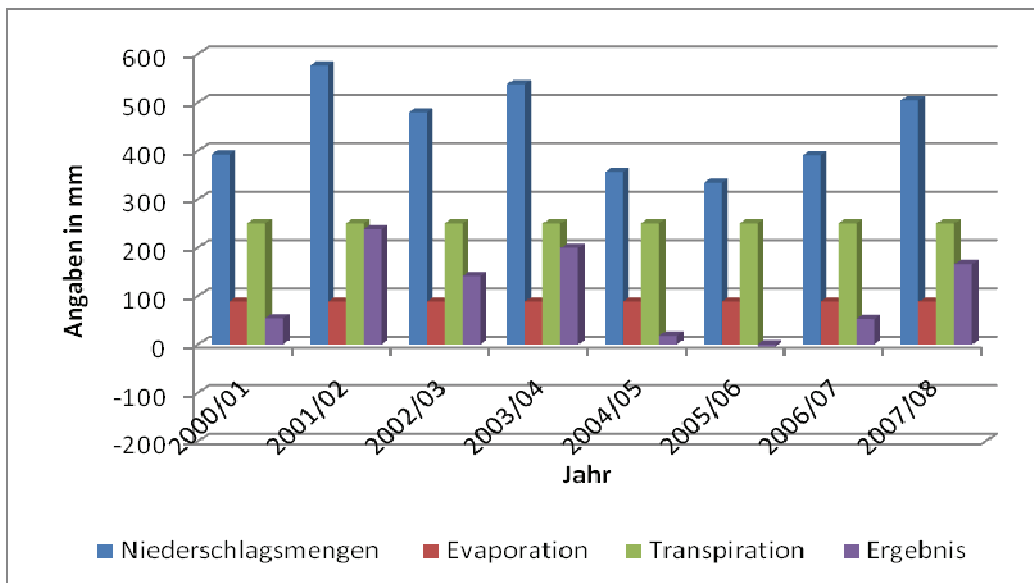


Abbildung 47: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Hildesheim

Tabelle 25: Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Magdeburg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	277,5	88,2	250	-60,7
2001/2002	323,2	88,2	250	-15
2002/2003	297,6	88,2	250	-40,6
2003/2004	284,2	88,2	250	-54
2004/2005	224,9	88,2	250	-113,3
2005/2006	280,9	88,2	250	-57,3
2006/2007	251,3	88,2	250	-86,9
2007/2008	364,5	88,2	250	26,3

Angaben in mm

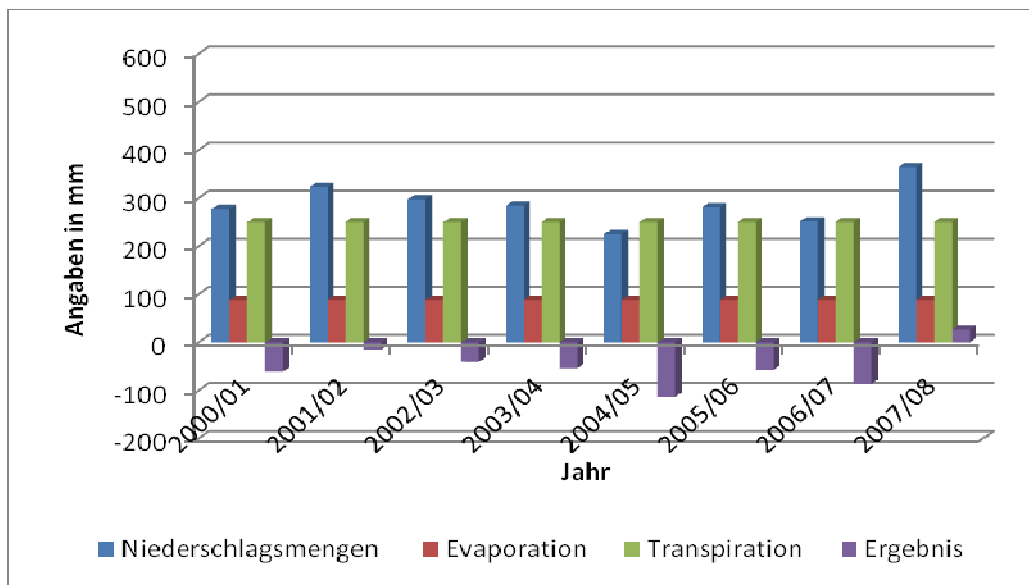


Abbildung 48: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Magdeburg

Tabelle 26: Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Dannenberg

Zeitraum	Niederschlagsmengen	Evaporation	Transpiration	Ergebnis
2000/2001	280	88,2	250	-58,2
2001/2002	508,7	88,2	250	170,5
2002/2003	323,9	88,2	250	-14,3
2003/2004	365,7	88,2	250	27,5
2004/2005	291	88,2	250	-47,2
2005/2006	317,4	88,2	250	-20,8
2006/2007	355,9	88,2	250	17,7
2007/2008	425,6	88,2	250	87,4

Angaben in mm

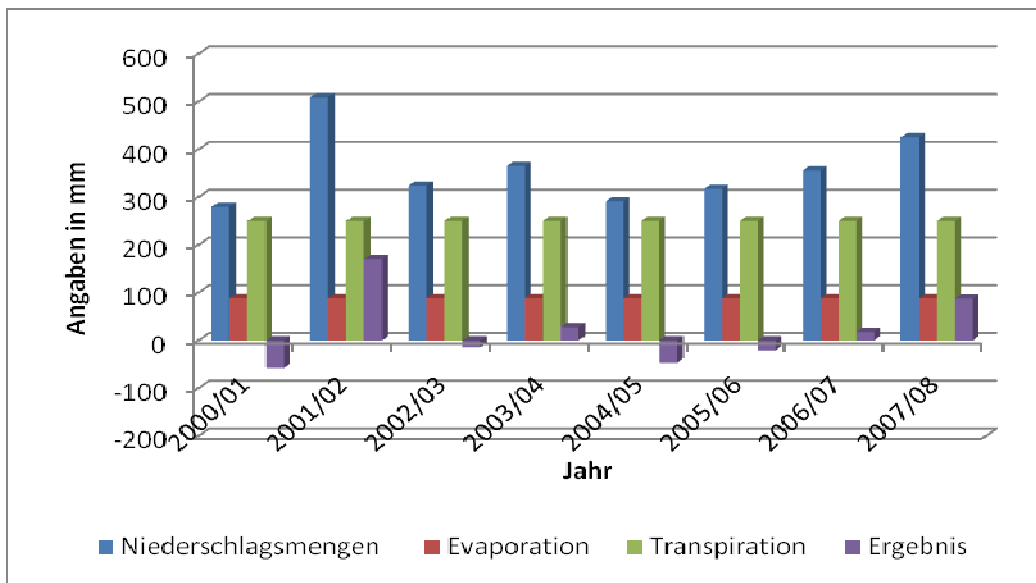


Abbildung 49: grafische Darstellung der Wasserbilanz der Winterrüben für die Region Dannenberg

Die Auswertung und Deutung dieser Diagramme zur Wasserbilanz sollen im Teil der Schlussbetrachtung Kapitel 6.1 erfolgen. Dabei soll sich aus Vereinfachungsgründen auf die zwei Extremjahre 2003 und 2007 Bezug genommen werden. In nachstehendem Text soll erörtert werden, warum die Jahre 2003 und 2007 exemplarisch als Extreme herangezogen werden können.

Die im Anhang I aufgezeigten Klimadiagramme geben einen nach Jahren (2000 – 2008) gegliederten Überblick auf die Niederschlagsverteilung und den Temperaturverlauf in den betrachteten Regionen Hildesheim (Börde), Magdeburger Börde und Lüchow-Dannenberg. Die Auswertung der Analyse zum Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte in ihre Vegetation in Kapitel 6.1 und ebenfalls die Betrachtung der Fruchtfolgeszenarien in Kapitel 6.2 wird aus Gründen der Vereinfachung nur auf zwei Extremjahre bezogen. Dennoch wird mit den Diag-

rammen zur Wasserbilanz der Zwischenfrüchte, siehe oben, ein mehrjähriger (2000 – 2008) Überblick gegeben, um auch einen Vergleich der einzelnen Jahre zu ermöglichen. Aus den erstellten mehrjährigen Klimadiagrammen (s. Abbildung 50-52) für die einzelnen Stationen Hildesheim, Magdeburg und Lenzen (Lüchow-Dannenberg) geht im Vergleich das Jahr 2003 als besonders trocken und das Jahr 2007 als sehr niederschlagsreich hervor. Diese Extremjahre werden besonders im Sommer deutlich, sind also hauptsächlich für den Sommerzwischenfruchtanbau bedeutungsvoll. Diese beiden genannten Jahre (2003 und 2007) sind auch in eigener Erinnerung und vielfach in der Literatur als Klimaextremjahre bekannt und werden gerne zur Deutung des Klimawandels herangezogen. So heißt es in einem Artikel vom GERMANWATCH (2007), dass die Trockenheit im Sommer 2003 starken Wassermangel bewirkte und somit die Vegetation um bis zu 30% zurückging. Dieses führte zu einer negativen Beeinträchtigung der Wald- sowie Landwirtschaft. Für das Winterhalbjahr, also den Winterzwischenfruchtanbau gelten die Extreme zum Teil nicht in dem Ausmaß.

Die Vegetation der Winterzwischenfrüchte fällt anteilig immer in zwei Jahre (2003/2004 und 2007/2008).

Anhand der folgenden Abbildungen, welche die Niederschlagssummen der Jahre (2000 - 2007) zusammenfasst, kann die Auswahl der Jahre 2003 und 2007 bestätigt werden.

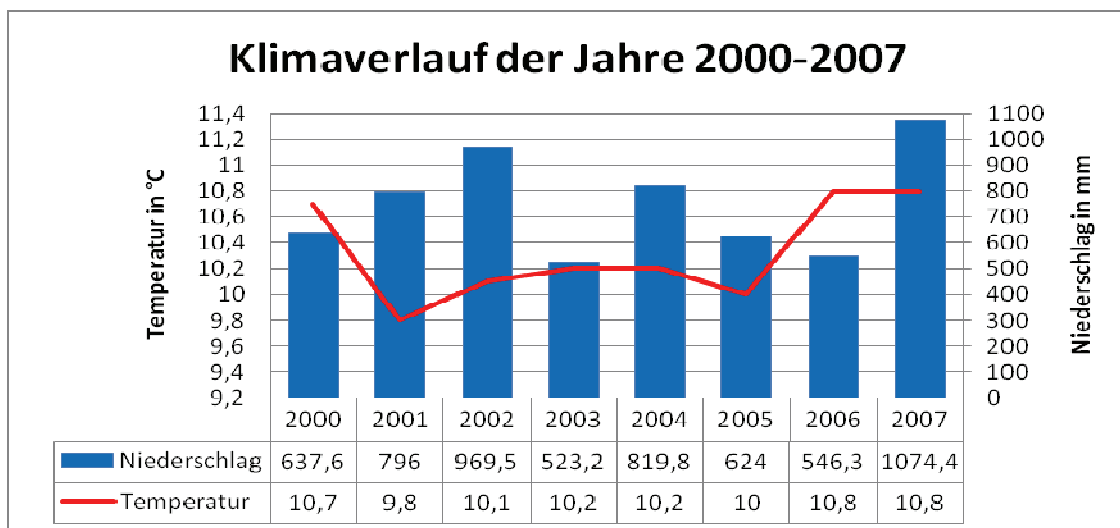


Abbildung 50: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Hildesheim (2000 – 2007)

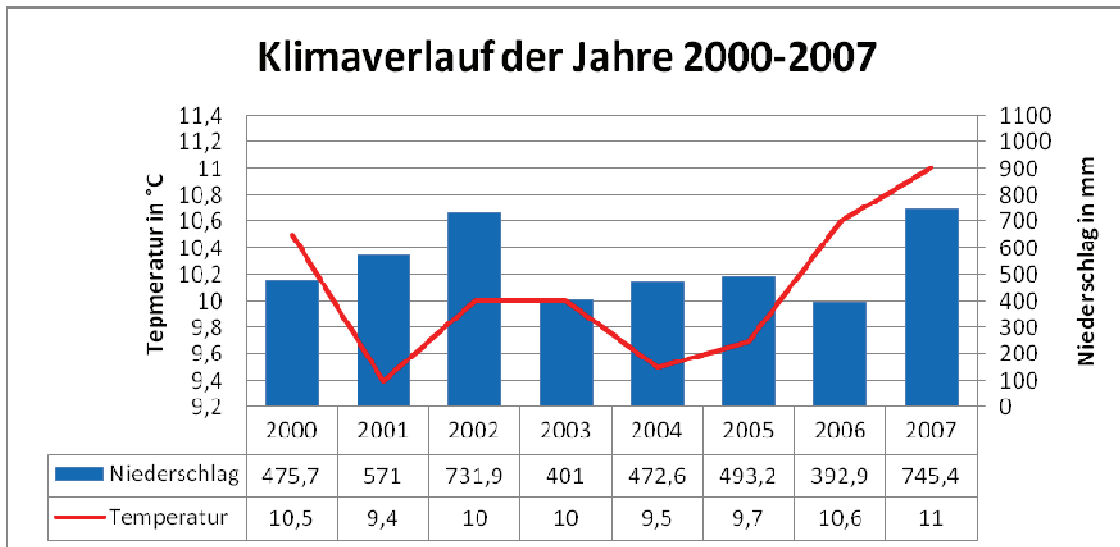


Abbildung 51: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Magdeburg (2000 – 2007)

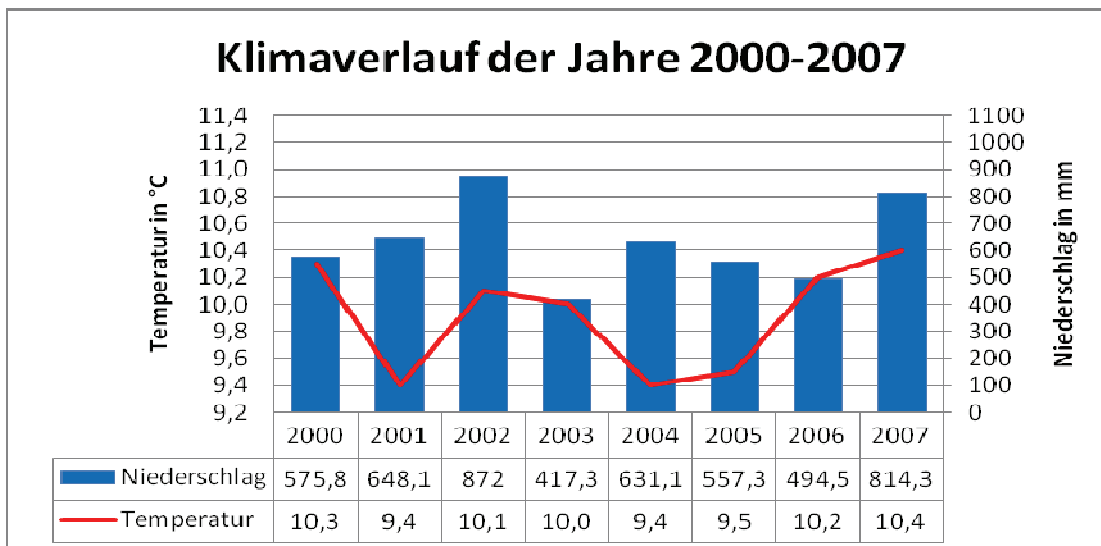


Abbildung 52: Darstellung der Jahresniederschlagssummen und der durchschnittlichen Jahrestemperaturen, Station Lenzen (2000 – 2007)

Die Auswertung der Klimadiagramme lässt die allgemeine Feststellung zu, dass in der Region Hildesheim (Niedersachsen) das höchste Niederschlagsaufkommen mit 749 mm im Durchschnitt der sieben Jahre erreicht wurde. Lüchow-Dannenberg mit 626 mm nimmt eine Zwischenposition ein und Magdeburg (Sachsen-Anhalt) mit 535 mm stellt im Durchschnitt der Jahre das Schlusslicht dar. Diese Position von Sachsen-Anhalt ist mit seiner geografischen Lage im Regenschatten des Mittelgebirges Harz zu begründen. Diese Niederschlagsmittel stimmen in etwa mit den in der Literatur zu findenden langjährigen Werten überein (s. Standortbeschreibungen).

Die laut Klimaszenarien prognostizierte Verschiebung der Niederschlagsmengen in die Wintermonate hat sich in unserer siebenjährigen Auswertung nicht eindeutig bestätigt (s. Anhang I, Klimadiagramme 1-3) allerdings werden aus diesen Klimadiagrammen Extremniederschlagsereignisse v.a. in den Hochsommermonaten Juni–August und teilweise September ersichtlich. Diese sind hauptsächlich in den Jahren 2002 und 2006 vorgekommen (s. Elbhochwasser). So können die im Sommer auftretenden, stärkeren Niederschlagsschwankungen erklärt werden. Im Winter dagegen erscheinen die Niederschläge konstanter. Der langjährige Temperaturverlauf zeigt im Sommer einen normalen Verlauf, mit durchschnittlichen Monatstemperaturen im Hochsommer (Juni, Juli, August) von 16 – 19°C. Das Jahr 2003 fällt in allen drei Regionen mit durchschnittlichen Temperaturen von 20 °C im Hochsommer im Vergleich dazu extremer aus. Die Wintermonate in den meisten Jahren fallen, wie langfristig prognostiziert, mild und selten unter 0°C aus. Niederschlagsschwankungen und teilweise hohe Temperaturen im Sommer wie im Jahre 2003 werden immer häufiger begründend für Dürreperioden herangezogen. Es kommt in solchen Jahren zu Anbauschwierigkeiten in der Landwirtschaft. Die Klimadiagramme im Anhang I zeigen ebenfalls eine Tendenz zu auftretender Frühjahrs-trockenheit, da besonders der April und auch der Mai, mit Ausnahme einzelner Jahre, in allen Stationen durch niedrige Niederschlagssummen gekennzeichnet sind.

5.3. Untersuchungsteil 2: Bodenwassergehalte während einer Fruchtfolge

Neben den Diagrammen zu den Wasserbilanzen, die zunächst nur den Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte während ihrer Vegetation aufzeigen, sollen unter Betrachtung eines typischen Bodens nachstehende Fruchtfolgeanalysen exemplarisch an den drei Standorten Hildesheim, Magdeburg und Dannenberg durchgespielt werden. Es soll sich bei der Untersuchung ebenfalls auf die Extremjahre 2003 und 2007 beschränkt werden. Orientiert an den Anbauverhältnissen der Standorte Hildesheim und Magdeburg, die hohe Anbauflächen von Winterweizen und Zuckerrüben haben, sollen diese Kulturen in die Fruchtfolge integriert werden.

Daraus ergeben sich folgenden Fruchtfolgen:

- Winterweizen – Winter-Inkarnatklees – Zuckerrüben
- Winterweizen – Schwarzbrache - Zuckerrüben

Anhand dieser Analyse soll aufgezeigt werden, wie sich die Bodenwassergehalte im Verlaufe eines Jahres verändern und wie sich diese zur Hauptfrucht (Zuckerrüben) im Frühjahr verhalten.

Für die Berechnung (Bodenwasserhaushaltsrechnung; Anhang II, Teil 5) werden zunächst der Transpirationskoeffizient des Winterweizens und sein durchschnittlicher Trockenmasseertrag herangezogen, welche aus der Literatur entnommen werden können. Auf die Weise kann ähnlich wie bei den Zwischenfrüchten der Wasserverbrauch des Winterweizens über die Vegetation errechnet werden. Der TK des Winterweizens liegt bei 488 l/kg TM (EHLERS, 1996). Bei der Ertragsbildung des Weizens muss der Harvest-Index, der das Verhältnis zwischen Korn- und Strohertrag aufzeigt, berücksichtigt werden. Der Index liegt bei 0,55, d.h., dass 55% des Ertrages alleine das Korn ausmacht. Laut Erfahrungswerten in der Praxis kann der Kornertrag des Winterweizens bei etwa 70 dt/ha angesetzt werden. Die restlichen 45%, in diesem Fall etwa 57,27 dt/ha, macht das Stroh aus. Also ergibt sich ein Gesamtertrag des Winterweizens von 127,27 dt/ha.

Folgendes Rechenschema zeigt die Ermittlung des Transpirationwertes des Winterweizens über seine gesamte Vegetationszeit (1.10 Aussaat – 31.07 Ernte) auf:

Formel 7: Berechnung des Wasserverbrauchs von Winterweizen in der Vegetationsperiode

Ertrag: 127,27 dt/ha TM	
TK: 488 l/kg TM	
Transpiration der Pflanze	= 127,27 dt/ha TM * 100
	= 12.727 kg/ha TM * 488 l/kg TM
	= 6.210.776 l/ha /10.000
	= 621,1 l/m² (mm)

Für die Untersuchung zum Bodenwassergehalt soll der Zeitraum eines Jahres betrachtet werden. Es handelt sich also um die Zeitabschnitte Frühjahr 2003 – Frühjahr 2004 und Frühjahr 2007 – Frühjahr 2008. Es wird davon ausgegangen, dass der Winterweizen seine Hauptvegetationsphase im Zeitraum vom 1.03 – 31.07 eines Jahres hat. Ab etwa 5°C im Frühjahr kann von einem Wiedereinsetzen der Vegetation ausgegangen werden (THOME, 2007). In den Untersuchungen zu den Jahren 2000 – 2008 kann der 1. März somit als Beginn der Vegetationsperiode betrachtet werden. Die Temperaturverläufe sind in den erstellten Klimadiagrammen (s. Anhang I) ersichtlich.

Der Aussaatzeitpunkt und die Entwicklung des Weizens über den Winter bis ins Frühjahr sollen in den Fruchtfolgeanalysen nicht näher beleuchtet werden. Dennoch muss berücksichtigt werden, dass erste Entwicklungsprozesse des Weizens schon vor dem Winter einsetzen und die Pflanzen in dieser Zeit bereits gewisse Wassermengen, besonders für Keimung und Auflaufen, benötigen. Aus dem Grunde kann mit Beginn des Betrachtungszeitraums im Frühjahr bereits von einem geringeren Gesamtwasserverbrauch als 621,1 mm ausgegangen werden. Den Rechnungen für die Fruchtfolgeanalyse wird somit ein Wasserverbrauch des Weizens von 397,8 mm in der Hauptvegetationsperiode vom 1.03 – 31.07 zu Grunde gelegt, der sich wie folgt ermittelt:

Die Entwicklungs- und Wachstumsphase des Weizens beträgt insgesamt zehn Monate (1.Oktober-31.Juli). In diesem Zeitraum werden vom Weizen 621,1 mm Wasser transpiriert, was eine Transpiration von 2,07 mm pro Tag bedeutet. Dieser Wert ist für die weitere Rechnung nicht aussagekräftig, da aus realistischen Gründen von unterschiedlichen Transpirationen in der Vegetationsphase ausgegangen werden muss.

Aufgrund niedrigerer Sonneneinstrahlung und Temperaturen wird ab dem 15. November-28.Februar (106 Tage) eine Vegetationsruhe angenommen. In dieser Zeit wird für Weizen ein Transpirationswert von 1 mm angesetzt. Für die Festlegung dieses Wertes dienten mündliche Überlieferungen des LBEG, die darauf hinweisen, dass Pflanzenbestände über den Winter hinweg sogar weniger als 1 mm Wasser pro Tag benötigen. Eine weitere Orientierungshilfe zur Ermittlung von Verdunstungswerten stellen die Bestandskoeffizienten dar, die für die wichtigsten Hauptkulturen aus dem DVWK Merkblatt Nr. 238/1996 entnommen werden können. Es ergibt sich für die 106 Tage folgender Wasserverbrauch:

$$106 \text{ Tage} * 1 \text{ mm} = \mathbf{106 \text{ mm}}$$

Nach Abzug der Transpiration über den Winter ergibt sich aus dem Gesamtwasserverbrauch des Winterweizens der Wert, der für die restliche Vegetation im Herbst (1.10-14.11=45 Tage) und für die Hauptvegetation (1.03 – 31.07=153 Tage) noch zu Grunde gelegt werden kann:

$$621,1 \text{ mm} - 106 \text{ mm} = \mathbf{515,1 \text{ mm}} / (153+45 \text{ Tage}) \\ = \mathbf{2,60 \text{ mm pro Tag}}$$

Aufgrund der geringeren Transpiration im Winter wird der restliche Wasserverbrauch (515,1 mm) auf die Zeit vor und nach der Vegetationsruhe umverteilt. Es ergibt sich eine tägliche Verdunstung von 2,60 mm statt der 2,07 mm pro Tag. Für die Bodenwasserhaushaltsrechnung soll nur die Gesamttranspiration in der Hauptvegetation berücksichtigt werden, die sich wie folgt ergibt:

$2,60 \text{ mm} * 45 \text{ Tage} = 117 \text{ mm}$	(Herbst)
$2,60 \text{ mm} * 153 \text{ Tage} = \mathbf{397,8 \text{ mm}}$	(Hauptvegetation)

Winter-Inkarnatkleesoll für die Rechnung zu den Fruchtfolgeszenarien als Zwischenfrucht herangezogen werden. Dafür muss, wie schon beim Weizen, die Vegetationsruhe vom 15.11 bis 29.02 (107 Tage wegen Schaltjahr 2004 und 2008) aus realistischen Gründen berücksichtigt werden. In dieser Zeit von einem Transpirationswert des Klees von 0,5 mm ausgegangen. Es wird aufgrund dieser Transpiration der restliche Wasserverbrauch auf die Vegetationszeit vor (1.9-14.11=75 Tage) und nach der Vegetationsruhe (01.03-15.04=46 Tage) umverteilt. So ergeben sich für die einzelnen Vegetationsabschnitte folgende tägliche Transpirationswerte:

Transpiration vom 01.09 – 15.04	= 266 mm
- Transpiration im Winter: $0,5 \text{ mm} * 107 \text{ Tage}$	= 53,5 mm
=Resttranspiration	= 212,5 mm

Tägliche Transpiration vom 01.09 – 14.11 und 01.03 – 15.04:

$212,5 \text{ mm} / (75 + 46 \text{ Tage}) = \mathbf{1,76 \text{ mm pro Tag}}$
--

Die Betrachtung der Fruchtfolgeszenarien erfolgt in einem Bilanzierungsverfahren, ähnlich wie bei der Erstellung der vegetationsbezogenen Wasserbilanzen der einzelnen Zwischenfrüchte (Kapitel 5.2).

Es soll davon ausgegangen werden, dass die Böden vor Beginn einsetzender Vegetation im Frühjahr zu 95 % ihrer nFK aufgefüllt sind. Diese Annahme kann der Literatur (DWD, 2008; SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002) und mündlichen Überlieferungen des LBEG entnommen werden. In der Untersuchung zum Bodenwassergehalt wird für die drei Standorte Hildesheim, Magdeburg und Lüchow-Dannenberg jeweils einer der ausgewählten Bodentypen mit einbezogen werden. Es werden die nFK-Werte dieser Böden für die Berechnungen herangezogen.

Die Analyse der Fruchtfolge soll prinzipiell ermöglichen, festzustellen, wie sich die Bodenwassergehalte vor der Zwischenfrucht im Herbst und vor Aussaat der Hauptfrucht (hier Zuckerrüben) im Frühjahr verhalten.

Ausgehend von einer zu 95% aufgefüllten nFK der Böden im Frühjahr wird zunächst die Hauptvegetationsperiode des Weizens (1.03 – 31.07) als kompletter Zeitblock betrachtet. Die Transpiration des Weizens bzw. die unterstellte Evaporation in diesem Zeitraum werden vom Ausgangswert der nFK abgezogen. Ab Sommer wird mit dem Bodenwasservorrat, der nach Beerntung des Weizens vorhanden ist, weitergerechnet. Die weitere Bilanzierung bis ins Frühjahr nächsten Jahres erfolgt täglich. Dabei werden je nach Pflanzenbedeckung und Jahreszeit unterschiedliche Werte für die Bodenverdunstung angenommen. Es soll auf diese Weise versucht werden, den Verlauf der Verdunstung praxisnah und realistischer darzustellen. Dabei gehen die Evaporationswerte 1,32 mm/Tag und 0,16 mm/Tag auf die Formeln 5 und 6 zurück. Sie geben die Bodenverdunstung für Sommer und Winter bei Pflanzenbedeckung an. In den Zeiträumen, in denen die Ackerflächen unbewachsen sind, wird für die Bodenverdunstung in den Sommermonate von April bis September ein Wert von 1,82 mm/Tag und in den Wintermonaten eine Wert von 0,66 mm/Tag zugrunde gelegt. Die Erhöhung dieser Werte um jeweils 0,5 mm/Tag beruht auf der Tatsache einer etwas höheren Wasserabgabe des Bodens, wenn keine schützende Pflanzendecke vorhanden ist (EHLERS, 1996).

Im Folgenden werden nach Regionen gegliedert die Ergebnisse der Fruchtfolgeanalysen aufgeführt. Die dafür erstellten Grafiken bilden jeweils den Bodenwassergehalt vom 31.07. bis zum 25.04. eines Jahres ab.

Hildesheim:

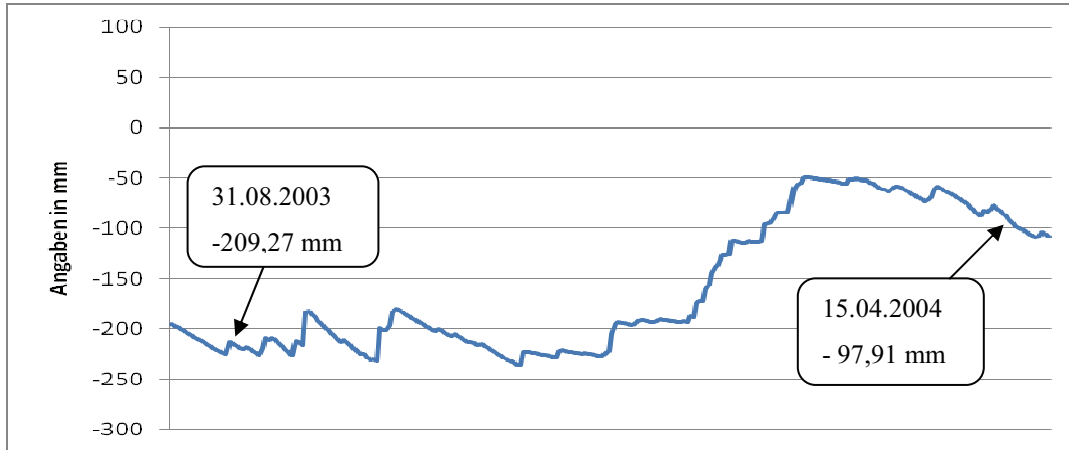


Abbildung 53: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Hildesheim)

Für die Fruchtfolgeszenarien in der Region Hildesheim soll die Parabraunerde als Bodenstandort untersucht werden.

Ausgegangen von einer 95 prozentig aufgefüllten Nutzbaren Feldkapazität des Bodens (213,75 mm) hat sich der Bodenwassergehalt aufgrund des sehr trockenen Sommers 2003 mit Niederschlägen von nur 152,2 mm und der hohen Evapotranspiration während der Vegetation des Weizens (561 mm) auf einen negativen Wert von -195,05 mm eingestellt.

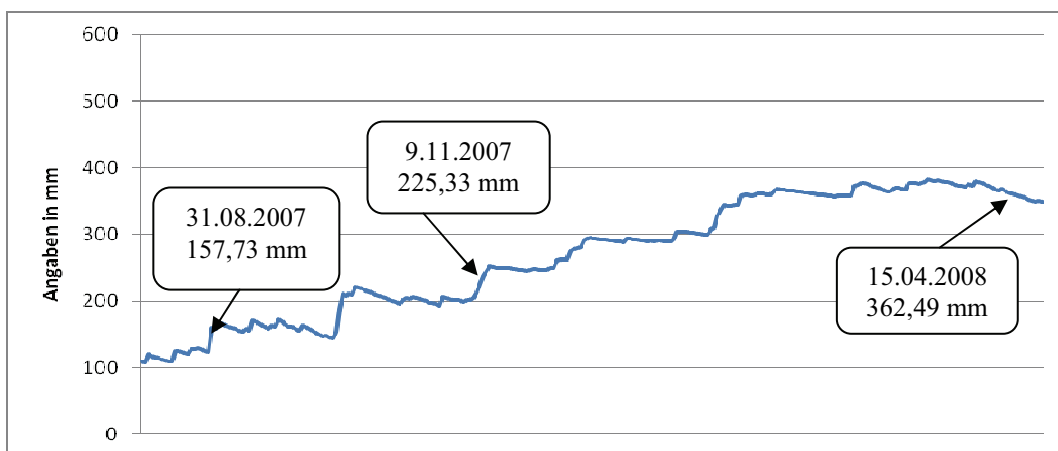


Abbildung 54: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Hildesheim)

Im Jahr 2007 dagegen sind in fünf Monaten 456,7 mm Niederschläge gefallen. Zu diesem Wert muss die nutzbare Feldkapazität (213,75 mm), die als Anfangsbodenwassergehalt gilt, hinzugerechnet werden. Aus der Summe dieser beiden Zahlen abzüglich der Evaporation des Bodens und der Transpiration des Weizens vom 01.03 bis 31.07 ergibt sich somit Ende Juli ein Bodenwassergehalt von 109,45 mm.

Nach Aberntung des Weizens liegt der Boden über den gesamten Monat August brach. Der Bodenwassergehalt ist von Anfang bis Ende August 2003 von -195,05 mm auf -209,27 mm abgesunken bzw. im Jahr 2007 von 109,45 mm auf 157,73 mm aufgefüllt worden.

Diese Wassergehalte des Bodens sind für die Szenarien mit integrierter Zwischenfrucht genauso wie für die reine Schwarzbrache identisch. Ab 01.09 müssen die Fruchtfolgeszenarien mit Zwischenfrucht bzw. mit Schwarzbrache bezüglich des Bodenwassergehaltes getrennt betrachtet werden.

Klee wird in der Fruchtfolge am 1.09 gesät. Dieser verbraucht bis zum Vegetationsende (15.11.) 1,76 mm pro Tag. Aufgrund geringerer Sonneneinstrahlung und damit sinkender Temperaturen kann ab 15.11 davon ausgegangen werden, dass sich die Transpiration der Pflanze auf 0,5 mm absenkt (Erklärung Seite 97) Bis zum Januar des Jahres 2004 liegt der Bodenwassergehalt immer unter -250 mm. Die zunehmenden Niederschläge im Februar führen zu einer Aufbesserung des Bodenwassers bis zum 29.02.2004 auf -52,79 mm. Bis zum Vegetationsende des Klees am 15.04.2004 verschlechtert sich der Wassergehalt wieder auf einen Wert von -97,91 mm. Der darauf folgende Zeitabschnitt ohne Pflanzenbedeckung und die zusätzlich niedrigen Niederschläge im April lassen den Wert bis zur Aussaat der Zuckerrüben bis auf -108,21 mm absinken.

Die höheren Niederschläge im Jahr 2007/2008 führten während der Vegetationsperiode des Klees und der kurzen Brachephase im April dazu, dass zur Aussaat der Zuckerrüben ein Bodenwassergehalt von 348,79 mm (25.04.2008) erreicht werden konnte.

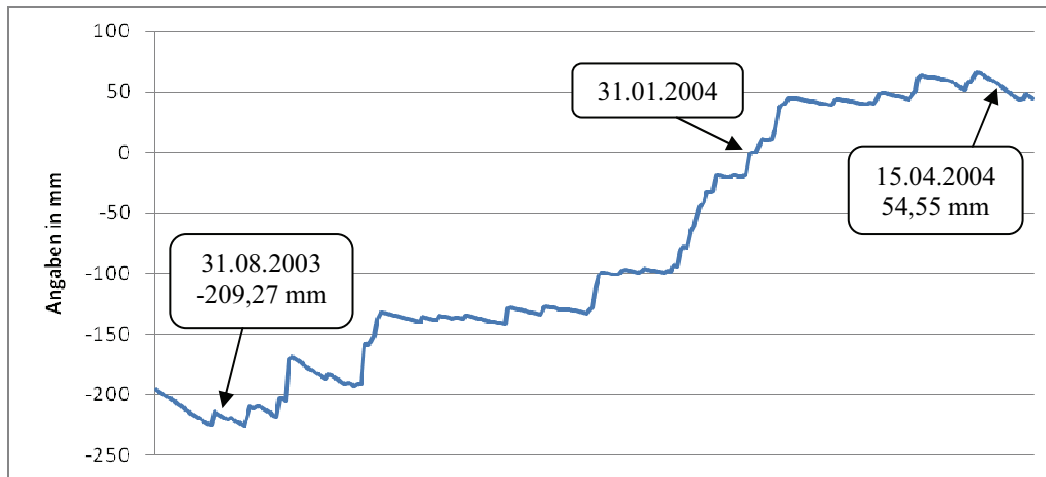


Abbildung 55: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Hildesheim)

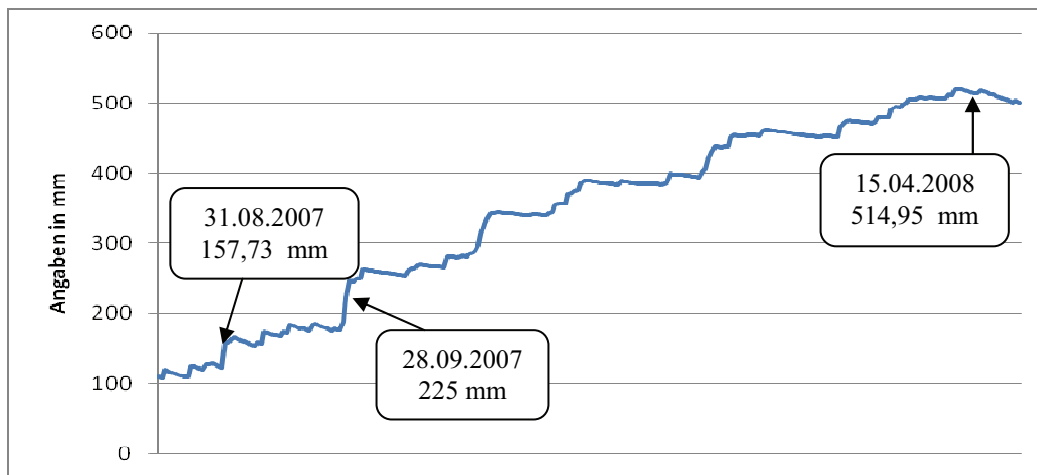


Abbildung 56: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Hildesheim)

In den oberen Abbildungen sind die Verläufe der Bodenwassergehalte für eine Brache über den Winter im Jahr 2003/2004 und 2007/2008 dargestellt. Die Brache erstreckt sich von 01.08 bis zum 25.04. In dieser Zeit wird in den Sommermonaten eine Evaporation von 1,82 mm und in den Wintermonaten von 0,66 mm angenommen.

Im Zeitraum 2003/2004 liegt der Bodenwassergehalt einschließlich bis zum 31.01.2004 unter null. Nach diesem Tag haben sich die Gehalte, trotz einiger Schwankungen bis zum 25.04, auf einen Wert von 44,25 mm eingependelt.

Der zum Ende August des Jahres 2007 errechnete Wert von 157,73 mm für den Bodenwassergehalt erreicht mit kontinuierlichem Anstieg bis Ende der Schwarzbrache am 25.04.2008 einen Wert von 501,25 mm.

Tabelle 27: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Hildesheim)

	2003/2004		2007/2008	
	Fruchtfolge	Schwarzbrache	Fruchtfolge	Schwarzbrache
28.Feb (nFK)		213,75		213,75
31. Jul		-195,05		109,45
31. Aug		-209,27		157,73
15. Apr	-97,91	54,55	362,49	514,95
25. Apr	-108,21	44,25	348,79	501,25

Angaben in mm

Magdeburg:

In der Region Magdeburg zeigt die Fruchtfolgegestaltung mit Winter-Inkarnatklees für die Jahre 2003/2004 und 2007/2008 folgenden Verlauf der Bodenwassergehalte auf:

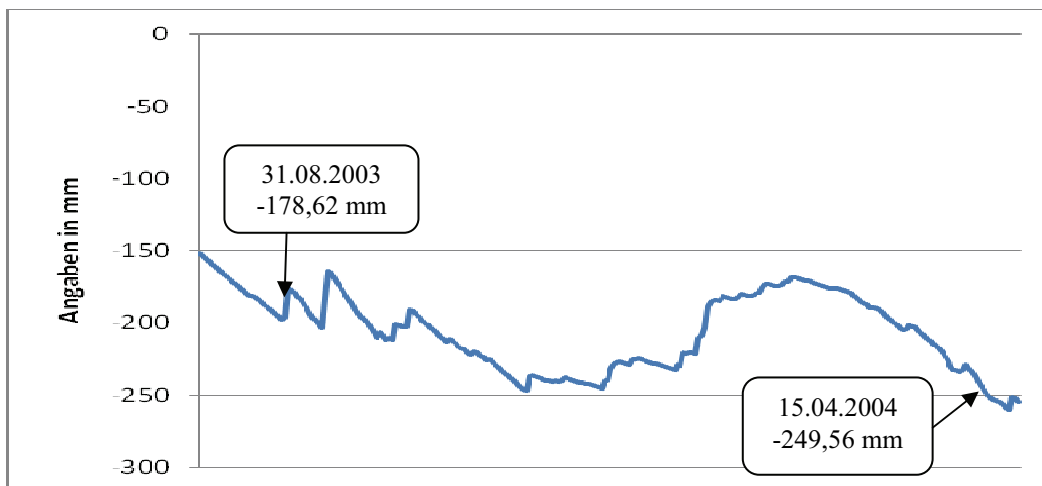


Abbildung 57: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklees von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Magdeburg)

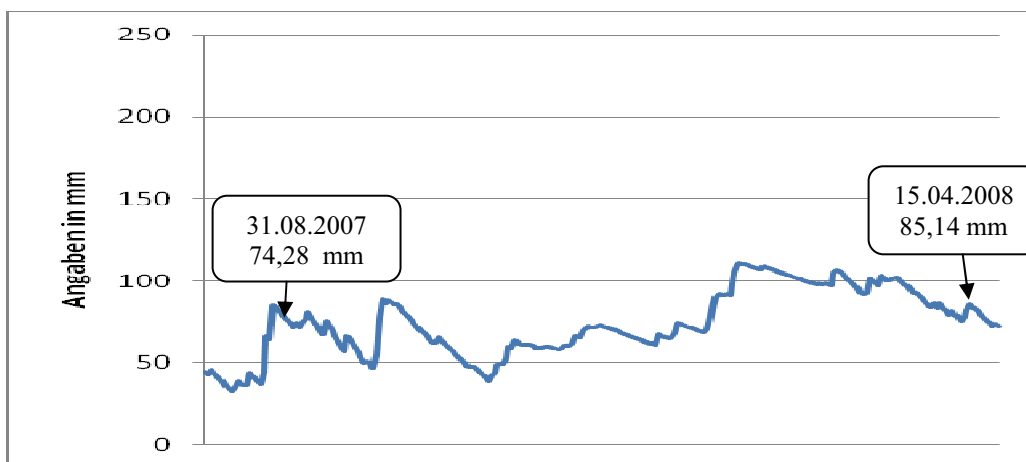


Abbildung 58: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklees von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Magdeburg)

Der v.a. in den Bördengebieten vorzufindende Hauptbodentyp ist der Tschernosem. Dieser hat eine nutzbare Feldkapazität von 260 mm, sodass im Frühjahr bei einer nFK 95% von 247 mm pflanzenverfügbarem Wassergehalt im Boden ausgegangen werden kann. Werden die Niederschlagsmengen für den Sommer 2003 (161,8 mm) und 2007 (358 mm) betrachtet, so ergeben sich nach Aberntung des Weizens am 31.07.2003 Bodenwassergehalte von -152,2 mm und am 31.07.2007 Gehalte von 44 mm.

Die geringen Niederschläge im Jahr 2003/2004 in der Magdeburger Börde führten dazu, dass die Bodenwassergehalte bei Anbau des Winter-Inkarnatklees bis Ende April immer zwischen -170 mm und -250 mm schwanken. Am 25.04.2004 wurde mit -254,36 mm einer der niedrigsten Werte während der gesamten Betrachtung in dieser Region erreicht. Für den anderen Untersuchungszeitraum ergeben sich Bodenwassergehalte zwischen 0 und 110 mm, der Ende April bei 72,34 mm liegt.

Im Fall der Schwarzbrache ergeben sich für beide Jahre folgende Abbildungen:

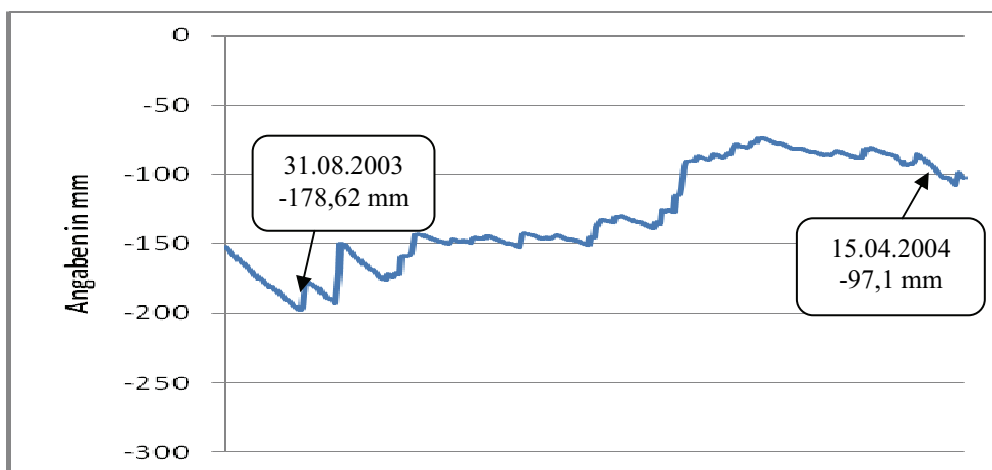


Abbildung 59: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Magdeburg)

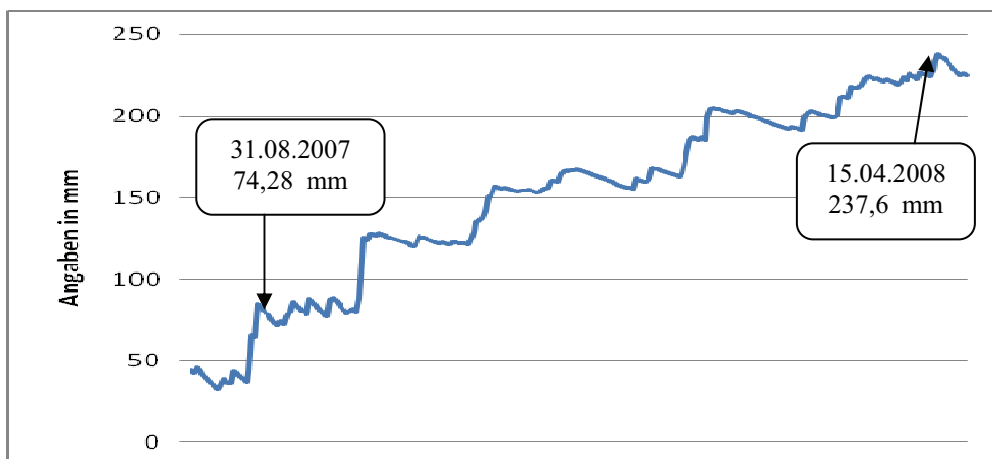


Abbildung 60: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Magdeburg)

Die Abbildung 59 zeigt, dass im Jahr 2003/2004 Bodenwassergehalte generell im negativen Bereich liegen. Dennoch schwanken die negativen Bilanzen während des gesamten Betrachtungszeitraumes aufgrund partiell fallender Niederschläge. Am Ende des Referenzzeitraumes im April 2004 wird ein negativer Wert von -101,9 mm erreicht.

Die Bodenwassergehalte im Jahr 2007/2008 verhalten sich gegenteilig, denn während der gesamten Schwarzbrachzeit erhöht sich der Bodenwassergehalt mit geringfügigen Schwankungen. Am 25.04.2008 kann ein Wert für den Bodenwassergehalt von 224,8 mm ermittelt werden.

Tabelle 28: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Magdeburg)

	2003/2004		2007/2008	
	Fruchtfolge	Schwarzbrache	Fruchtfolge	Schwarzbrache
28.Feb (nFK)		247		247
31. Jul		-152,2		44
31. Aug		-178,62		74,28
15. Apr	-249,56	-97,1	85,14	237,6
25. Apr	-254,36	-101,9	72,34	224,8

Angaben in mm

Dannenberg:

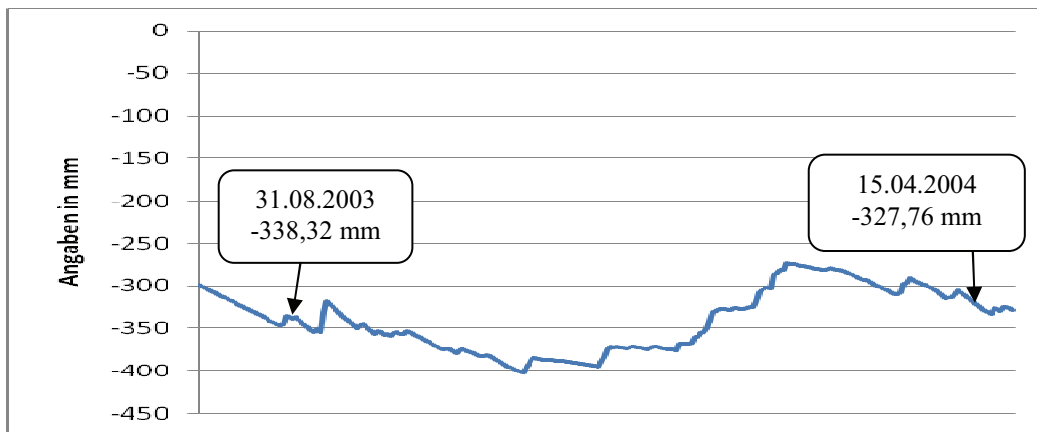


Abbildung 61: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklees von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Dannenberg)

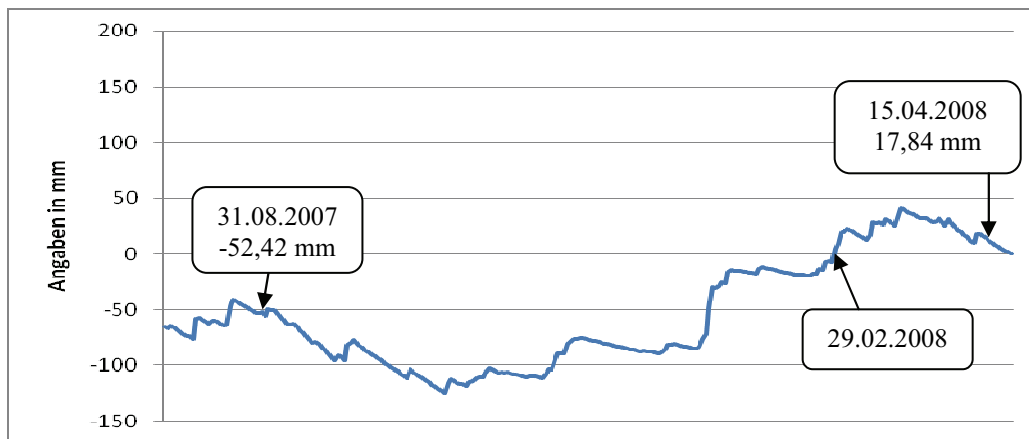


Abbildung 62: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklees von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Dannenberg)

Für die entsprechende Untersuchung in der Region Dannenberg wird ein Podsolboden herangezogen. Dieser besitzt laut LBEG eine nutzbare Feldkapazität im Bereich von 100 mm. Wie auch in den beiden oberen Regionen angenommen wird, ist diese Kapazität am 28.02.2003/2007 zu 95% aufgefüllt. Daraus ergibt sich ein Bodenwassergehalt zu diesem Zeitpunkt von 95 mm. Nach der Vegetationsperiode des Weizens wird im Jahr 2003 ein Wert von -298,9 mm ermittelt. Im Jahr 2007 sieht das mit -64,9 mm ganz anders aus.

Während der gesamten Fruchtfolgebetrachtung im Jahr 2003/2004 schwankt der Bodenwassergehalte zwischen -270 und -400 mm, wobei er zum Ende (April 2004) einen Wert von -328,76 mm annimmt.

In 2007/2008 fallen die Bilanzwerte nicht ganz so negativ aus. Die Werte liegen bis Ende Februar unter null. Ab dem 29.02.2008 bis zum 25.04.2008 werden aufgrund gleichmäßiger Niederschlagsereignisse durchgängig positive Werte erreicht. Ende April liegt der Bodenwassergehalt bei 0,34 mm.

Wie auch in den anderen Stationen wird in der Region Dannenberg für die zweite Fruchtfolgeanalyse über den Winter statt der Zwischenfrucht eine Schwarzbrache betrachtet. Die folgenden Abbildungen sollen den Einfluss der Brache auf den Bodenwassergehalt zeigen:

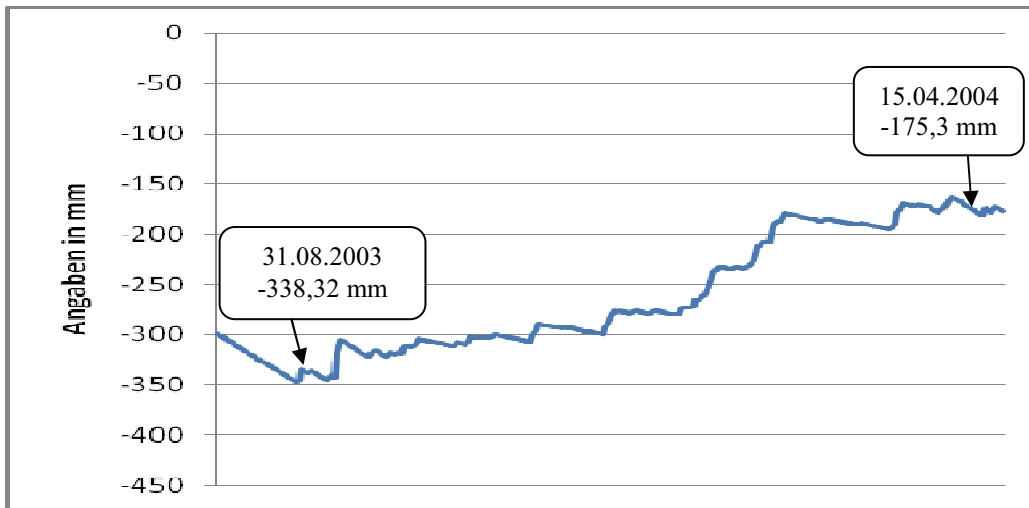


Abbildung 63: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2003-25.04.2004 (Region Dannenberg)

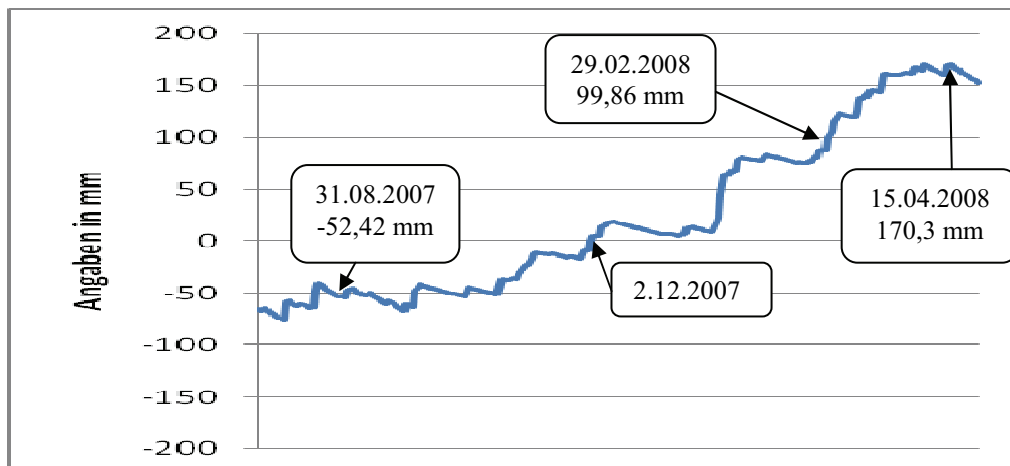


Abbildung 64: Bodenwassergehalte für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache von 31.07.2007-25.04.2008 (Region Dannenberg)

Aufgrund der durchschnittlich nur gering ausfallenden Tagesniederschläge von 1,48 mm in der Zeit vom 01.08.2003 bis 25.04.2004 liegen die Bodenwassergehalte stark im negativen Bereich (-350 bis -150 mm).

Im Zeitraum 2007/2008 liegt der Bodenwassergehalt einschließlich bis zum 01.12.2008 unter Null. Nach diesem Tag haben sich die Gehalte, trotz einiger Schwankungen, stetig erhöht. Am 25.04.2008 ist somit ein Wert von 152,8 mm erreicht worden.

Tabelle 29: Zusammenfassung der wichtigsten Daten für die Bodenwasserhaushaltsrechnung (Region Dannenberg)

	2003/2004		2007/2008	
	Fruchtfolge	Schwarzbrache	Fruchtfolge	Schwarzbrache
28.Feb (nFK)		95		95
31. Jul		-298,9		-64,9
31. Aug		-338,32		-52,42
15. Apr	-327,76	-175,3	17,84	170,3
25. Apr	-328,76	-176,3	0,34	152,8

Angaben in mm

Die Auswertung und Deutung dieser Ergebnisse soll im Teil der Schlussbetrachtung (Kapitel 6.2) erfolgen. Unter Einbezug der Eigenschaften betrachteter Bodentypen sollen die Standorte Hildesheim, Magdeburg und Dannenberg miteinander verglichen werden und unter ihnen eine Gewichtung zur Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten vorgenommen werden.

6. Schlussbetrachtung/ Diskussion

6.1. Auswertung des 1. Untersuchungsteils (Wasserbilanzen)

Der Wasserverbrauch der einzelnen Zwischenfrüchte wurde in Kapitel 5.2 bereits berechnet. Anhand der ermittelten Werte können erste Schlüsse gezogen werden, wie genau sich die Wasserhaushaltung der Zwischenfrüchte gestaltet.

Phacelia weist mit 64,98 mm in der Vegetationsperiode einen verhältnismäßig geringen Wasserverbrauch auf. Der Inkarnatklee als Sommerzwischenfrucht und die Winterrüben haben einen Wasserverbrauch von 175 mm und 250 mm. Inkarnatklee als Winterzwischenfrucht liegt mit 266 mm am höchsten unter den ausgewählten Zwischenfrüchten.

Schlussfolgernd ist zu sagen, dass die Sommerzwischenfrüchte Phacelia und der Inkarnatklee in ihrer Vegetation sparsamer im Wasserverbrauch sind als Winterrüben und Inkarnatklee im Winterzwischenfruchtanbau. Da die Vegetationsphase der Sommerzwischenfrüchte allerdings nur zwei Monate beträgt, verteilt sich die gering erscheinende Pflanzenverdunstung auch nur über einen kurzen Zeitraum. Bei Winterzwischenfrüchten erstreckt sich der Zeitabschnitt mit Pflanzenverdunstung über mehrere Monate (7,5 Monate), was im Gegensatz zum Sommerzwischenfruchtanbau als positiv für den Bodenwasserhaushalt zu betrachten ist.

Neben der Pflanzenverdunstung spielt auch die Bodenverdunstung eine größere Rolle. Im Sommer wird mit 1,32 mm/Tag mehr verdunstet als im Winter (0,16 mm/Tag), da höhere Sonneneinstrahlung und Temperaturen vorliegen. Dieses stellt den Sommerzwischenfruchtanbau aufgrund seiner höheren Bodenverdunstung zusätzlich in ein schlechteres Licht.

Bei Betrachtung der ermittelten Wasserbilanzen zu den einzelnen Zwischenfrüchten (siehe Kapitel 5.2) muss der Ergebniswert sehr kritisch beleuchtet werden. Er stellt generell das Maß für die im Boden zur Verfügung stehende Wassermenge dar. Negative Werte geben zunächst an, dass ein Wasserdefizit vorliegt, aber sie weisen wiederum nicht darauf hin, dass unbedingt zum Ende der Vegetation kein Wasser mehr im Boden vorhanden ist.

Es handelt sich bei dem Bilanzwert um einen Summenwert, der sich aus den gefallenen Niederschlägen und der Verdunstung für jeden einzelnen Tag in der Vegetation ergibt. Es muss prinzipiell beachtet werden, dass es Tage mit höherer Sonneneinstrahlung und höheren Temperaturen gibt, an denen mehr verdunstet, als an anderen Tagen. Wobei die Verdunstung natürlich eine gewisse Bodenfeuchte voraussetzt. Ein insgesamt kühleres Jahr fällt von der Verdunstung somit ganz anders aus als wärmere Jahre (EHLERS, 1996). Nach starken Niederschlagsereignissen kann davon ausgegangen werden, dass die erhöhte Bodenfeuchte von den Pflanzen ausgenutzt wird, sodass diese viel Wasser verdunsten. Natürlich dürfen auch hier wichtige Einflussfaktoren auf die Verdunstung nicht vernachlässigt werden (siehe Kapitel Boden und Bodenwasser).

Schlussendlich kann die Evaporation im Sommer und Winter nicht gleichmäßig bei den angenommenen 1,32 mm/Tag und 0,16 mm/Tag liegen. Die von uns konstant angenommene Verdunstung für den Boden über die Sommer- und Wintermonate dient demnach auch nur der Vereinfachung.

Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass der Bilanzwert als ein statistischer Wert betrachtet werden muss. Die Wassergehalte im Boden können letztendlich nur bei Null liegen und nicht negativ sein. Der Wasserbilanzwert muss desto kritischer beleuchtet werden, je negativer dieser ausfällt. Denn in diesem Fall nimmt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Wassermangel zum Ende der Wachstumsperiode der Zwischenfrucht zu und es tritt mit Sicherheit Wasserstress für die Pflanzen ein. Die Interpretation der ausgewerteten Daten darf daher nicht zu mathematisch und statisch verlaufen, denn die Natur muss immer als ein dynamisches System gesehen werden.

Ähnlich wie bei der Evaporation wird auch bei der Transpiration der Pflanze über die gesamte Vegetation von einem konstanten Wert ausgegangen, um den Rechenvorgang zu erleichtern. Unter natürlichen Bedingungen sollten allerdings die unterschiedlich starke Entwicklung der Pflanzen und, ähnlich wie bei der Bodenverdunstung, die Parameter wie Wind-, Sonneneinstrahlung und Temperaturverlauf während der Vegetationsperiode berücksichtigt werden. Denn eine hohe Sonneneinstrahlung und Windbewegung führen z.B. dazu, dass die Pflanzen zusätzliche Wassermengen transpirieren (OEHMICHEN, 1983).

Der Entwicklungszyklus und der dadurch beeinflusste Transpirationsgang eines Pflanzenbestandes lassen sich wie folgt abbilden:

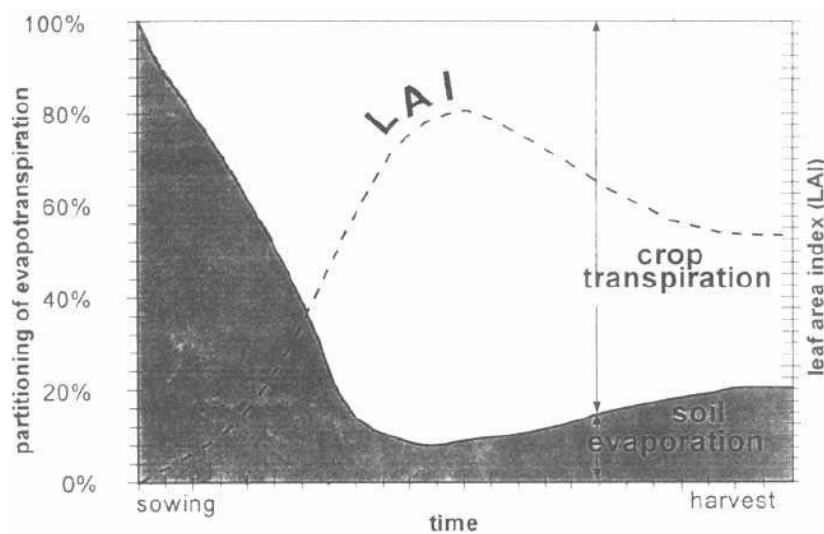


Abbildung 65: Aufteilung der Evapotranspiration in die Teilkomponenten Evaporation und Transpiration in Abhängigkeit von der Entwicklung des Bestandes

Quelle: ALLEN et al., 1998

Der Entwicklungszustand einer Pflanze kann am Blattflächenindex (LAI = Leaf Area Index) dieser festgemacht werden (EHLERS, 1996). Es gibt einen Zusammenhang zwischen dem Blattflächenindex und der Evapotranspiration.

Zum Zeitpunkt der Aussaat kann nur eine reine Evaporation (100%) festgestellt werden, da noch keine Pflanzenmasse vorhanden ist, welche Wasser verdunstet (ALLEN et al., 1998). Da Zwischenfrüchte allgemein einer schnellen Bestandesetablierung unterliegen, bilden sie relativ zügig große Mengen an Biomasse aus und gelangen somit bald in den Bereich hoher Pflanzentranspiration. Das ist damit zu begründen, dass mit steigender Blattmasse der Anteil der Globalstrahlung, die die Bodenoberfläche erreicht, vermindert wird. Somit kann das Licht im Pflanzenbestand photosynthetisch genutzt werden, was bedeutet, dass mehr Wasser transpiriert wird (EHLERS, 1996). Die Bodenverdunstung liegt zu diesem Zeitpunkt etwa nur bei

10% (ALLEN et al., 1998). In Richtung Blüte und Reife der Zwischenfrucht ist bald ein konstantes Plateau erreicht bzw. nimmt der benötigte Wasserbedarf der Pflanzen und somit ihre Transpiration wieder ab. Nach Aberntung oder Absterben der Zwischenfrucht liegt der Boden durch die Pflanzenräumung brach und die Verdunstung kann nunmehr wieder auf die reine Evaporation bezogen werden.

Im folgenden Abschnitt sollen anhand von Erläuterungen und Deutungen zu den Wasserbilanzen der Zwischenfrüchte ihre Anbauwürdigkeit für die drei Regionen Hildesheim, Magdeburg und Dannenberg geprüft werden. Betrachtete Jahre sind, wie in Kapitel 5.2 schon erläutert, 2003/2004 und 2007/2008.

Fokus auf den Sommer-Inkarnatklees

Werden die Niederschlagsmengen für die Region Hildesheim betrachtet, so fällt auf, dass das Jahr 2003 mit einer negativen Wasserbilanz von -141,1 mm für den Sommer- Inkarnatklees extremer ausfällt als das Jahr 2007, das eine Wasserbilanz von -8 mm aufweist. In Magdeburg dagegen ist ein Ergebniswert von -164,8 mm (2003) und -63,7 mm (2007) festzustellen. In der Station Dannenberg wurde für das Jahr 2003 -163,7 mm und für 2007 -121,1 mm ermittelt.

Die Wasserbilanzen fallen in allen drei Stationen negativ aus, was zunächst darauf hinweist, dass die Niederschläge innerhalb der zweimonatigen Vegetationsperiode geringer ausgefallen sind als die Evapotranspiration in dieser Zeit. In allen drei Stationen spiegelt sich der klimatische Unterschied der beiden Extremjahre 2003 und 2007 wider. So fällt das Jahr 2007, als ein sehr feuchtes Jahr, in allen Regionen durch seinen geringer negativen Wasserbilanzwert im Verhältnis zu 2003 auf.

Unterschiede in den einzelnen Stationen sind teilweise sehr deutlich zu erkennen. Demnach scheint Hildesheim mit dem höchsten Niederschlagsaufkommen für den Anbau des Sommer-Inkarnatklees die günstigste Position einzunehmen. Daran schließt sich die Region Lüchow-Dannenberg an und am wenigsten günstig für den Anbau des Sommer-Inkarnatklees ist die Magdeburger Börde. Hier sollte der Anbau von Sommer-Inkarnatklees überdacht werden aufgrund der dem Klimadiagramm zu entnehmenden niedrigen Niederschlagsmengen. Selbst im Jahr 2007 ist das Niederschlagsaufkommen verhältnismäßig gering ausgefallen.

Fokus auf die Phacelia

In Hildesheim fallen die Wasserbilanzen der Jahre 2003 und 2007 mit 52,52 mm und 104,52 mm positiv aus. Im Gebiet Magdeburg liegt die Wasserbilanz 2003 bei 0,02 mm und 2007 wird ein Wert von 53,32 mm erreicht. Für Dannenberg kann für 2003 ein Wert von -15,68 mm, für das Jahr 2007 dagegen -21,28 mm ermittelt werden.

Die positiven Ergebniswerte in Hildesheim zeigen auf, dass die Niederschläge ausreichend genug waren, um den Anbau des Phacelias ermöglichen zu können, obwohl die Monate im Hochsommer, besonders im Jahr 2003, relativ trocken gewesen sind. Allerdings fielen in beiden Jahren zu Beginn der Hauptvegetation des Phacelias (September) genügend Niederschläge (s. Anhang I, Klimadiagramme 1-3).

Magdeburg erreicht in den Jahren 2003 und 2007 ebenfalls positive Wasserbilanzen. Das Jahr 2003 liegt aber nur geringfügig im positiven Bereich. Die Neigung zum Anbau des Phacelias in Magdeburg ist dennoch geringer als in Hildesheim, weil Magdeburg insgesamt mit einem geringeren Niederschlagsaufkommen hinter Hildesheim zurücktritt. Der Klimaverlauf während der Vegetationsperiode des Phacelias (15. August-15. Oktober) unterscheidet sich zwischen Dannenberg, Hildesheim und Magdeburg teilweise erheblich.

Das Jahr 2003, welches generell als Trockenjahr gilt, fällt in Dannenberg zur Hauptvegetation des Phacelias (September) feuchter aus als in Hildesheim und Magdeburg. Dennoch wird hier keine positive Wasserbilanz erreicht. Die negative Wasserbilanz in 2007 kann durch den im Vergleich zu 2003 etwas trockener ausgefallenen Herbst (ab September) erklärt werden. Im Vergleich zu Hildesheim und Magdeburg fällt der September 2007 in Dannenberg sehr trocken aus.

Anhand der Diagramme zur Wasserbilanz, kann für den Anbau des Phacelias schlussfolgernd festgestellt werden, dass der Standort Hildesheim sich aufgrund erhöhter Wahrscheinlichkeit für eine feuchte Herbstwitterung gut für den Anbau von Phacelia eignet. Magdeburg weist eine Tendenz zur Herbsttrockenheit auf. Der Anbau von Phacelia untersteht somit einem gewissen Risiko, ist aber auch allgemein nicht so lohnenswert wie in Hildesheim.

Ähnlich wie Magdeburg neigt auch Dannenberg im mehrjährigen Vergleich zu einem trockenen Herbst. Die Region stellt im Zwischenfruchtanbau im Vergleich zu Magdeburg dennoch einen besseren Standort dar, weil das Niederschlagsaufkommen im Mittel der Jahre höher ist (siehe Abbildung 50-52).

Im Vergleich zum Anbau des Sommer-Inkarnatklees fällt Phacelia deutlich günstiger aus, was unter anderem auf den unterschiedlichen Transpirationskoeffizienten zurückzuführen ist.

Phacelia weist mit 171 l/kg TM einen deutlich niedrigeren TK auf, als der Inkarnatklee mit 700 l/kg TM. Zusätzlich spielt auch die Höhe des Ertrages eine entscheidende Rolle. Inkarnatklee hat mit 25 dt/ha zwar einen niedrigeren Ertrag als Phacelia mit 38 dt/ha, aber das Produkt aus dem TK und dem Ertrag des Inkarnatklees ist höher. Zum anderen muss auch der Zeitraum der Vegetationsperiode berücksichtigt werden. Sommer-Inkarnatklee sowie auch Phacelia haben eine zweimonatige Vegetation. Da die Vegetationsphase des Sommer-Inkarnatklees (1. August-30. September) allerdings ausschließlich in das Sommerhalbjahr fällt und somit die Bodenverdunstung des Sommers (1,32 mm/Tag) unterstellt werden muss, fallen die Bilanzwerte für den Anbau von Sommer-Inkarnatklee immer etwas negativer aus als bei Phacelia. Dieser dagegen fällt mit dem einen Vegetationsmonat Oktober in das Winterhalbjahr, für das nur eine Evaporation von 0,16 mm/Tag angenommen wird.

Fokus auf den Winter-Inkarnatklee

In der Region Hildesheim betragen die Wasserbilanzen 2003/2004 183,2 mm und 2007/2008 149,9 mm. Magdeburg zeigt Bilanzwerte 2003/2004 von -70 mm und 2007/2008 von 10,3 mm. Im Zeitraum 2003/2004 bzw. 2007/2008 sind für Dannenberg 11,5 mm bzw. 71,4 mm ermittelt worden.

Anhand der Ergebnisse wird ersichtlich, dass Hildesheim mit positiven Wasserbilanzen von teilweise über 100 mm eine Region ist, die für den Anbau des Winter-Inkarnatklees durchaus geeignet ist.

Die Wasserbilanz in Magdeburg fällt im Gegensatz zu Hildesheim eindeutig schlechter aus.

Die Niederschlagsmengen in den Referenzzeiträumen 2003/2004 und 2007/2008 fallen im Vergleich zu Hildesheim mit einer Differenz zwischen 100 und 200 mm geringer aus.

In Dannenberg sind im Betrachtungszeitraum 2003/2004 die Wintermonate (Oktober-Dezember) relativ trocken ausgefallen. Der Januar 2004 fällt dagegen mit 74 mm feuchter aus, deshalb konnte noch eine positive Wasserbilanz erreicht werden. Für 2007/2008 ist der Januar (2008) mit 92,3 mm und der März (2008) mit 82,2 mm prägend für hohes Niederschlagsaufkommen, was zu einer höheren Wasserbilanz führt.

Fokus auf die Winterrüben

Die ermittelten Wasserbilanzen in Hildesheim fallen in den Jahren 2003 und 2007 mit 199,2 mm und 165,9 mm ausnahmslos positiv aus. In Magdeburg dagegen liegen mit -54 mm in 2003 eine negative und mit 26,3 mm in 2007 eine positive Wasserbilanz vor. In Dannenberg kann 2003 eine Wasserbilanz von 27,5 mm und in 2007 von 87,4 mm festgestellt werden.

Für Hildesheim kann zunächst festgehalten werden, dass die Wintermonate der Jahre 2003/2004 und 2007/2008 zu den vier niederschlagsreichsten innerhalb der mehrjährigen Betrachtung zählen.

Die Wachstumsperiode 2007/2008 in Magdeburg fällt besser aus als 2003/2004, was auf das relativ hohe Niederschlagsaufkommen des Septembers 2007 und des Aprils 2008 zurückzuführen ist. Daraus folgt, dass sich in der Wachstumsphase 2007/2008 der Winterrübsenanbau noch am ehesten gelohnt hätte.

Die Wasserbilanzen für die Winterrübsen stellen sich, wie aus den Diagrammen in Kapitel 5.2 zu entnehmen ist, ähnlich dar wie beim Inkarnatklee. Das Niederschlagsaufkommen gestaltet sich, aufgrund desselben Anbauzeitraums gleich. Unterschiede liegen lediglich im Ausschlag des Bilanzergebnisses, welcher beim Inkarnatklee immer etwas negativer ausfällt. Zu begründen ist dies mit der Tatsache, dass Inkarnatklee mit 266 mm einen etwas höheren Wasserverbrauch über die Vegetation aufzeigt als die Winterrübsen mit 250 mm.

Schlussendlich kann gesagt werden, dass für Hildesheim in der mehrjährigen Betrachtung die Niederschlagsmengen fast immer ausreichen, um die Boden- und Pflanzenverdunstung der Winterrübsen und des Inkarnatklees decken zu können. Dieses spiegelt sich in den deutlich positiven Wasserbilanzen wieder. Der Anbau der beiden Winterzwischenfrüchte ist dort also, wie der Datenauswertung entnommen werden kann, prinzipiell lohnenswert, obwohl der TK der Winterrübsen mit 500 l/kg TM und des Inkarnatklees mit 700 l/kg TM nicht unbedingt gering ausfallen. Aber, wie oben schon erwähnt, ist die Vegetationszeit dieser Winterzwischenfrüchte (1.9 – 15.4) mit 7,5 Monaten länger als der Zeitraum des Sommerzwischenfruchtanbaus. Somit wird der Wasserverbrauch auf mehrere Monate verteilt, in denen eine nicht unerhebliche Summe an Niederschlägen zusammenkommt. Winterrübsen und Inkarnatklee als Winterzwischenfrüchte belasten somit den Wasserhaushalt der Böden in der Region Hildesheim nicht und tragen noch mit einer beachtlichen Trockenmassebildung von 50 dt/ha bzw. 38 dt/ha positiv zur Bildung organischen Materials bei.

Der Winterzwischenfruchtanbau in der Region Magdeburg zeichnet sich im Vergleich zu Hildesheim mit teilweise starken Niederschlagsdefiziten ab. Es kommt somit überwiegend zu negativen Wasserbilanzen. In den Wintermonaten 2003 sind die Niederschlagsmengen im Mittel von 32 mm sehr gering ausgefallen. Insgesamt zeichnet sich eindeutig ab, dass der Standort Magdeburg im Vergleich zu Hildesheim für den Winterzwischenfruchtanbau weni-

ger geeignet ist. Die Niederschlagsaufkommen reichen hier überwiegend nur für die Deckung der Pflanzentranspiration.

Dannenberg zeigt im Jahre 2003/2004 und 2007/2008 positive und auch höhere Bilanzwerte als Magdeburg auf. Der Betrachtungszeitraum 2007/2008 ist durch höhere Niederschläge v.a. im Januar und März gekennzeichnet. Die fallenden Niederschläge decken in allen Jahren den Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte ausreichend ab, allerdings wird unter Einbezug der Evaporation dieses meistens nicht mehr vollständig gewährleistet. Schlussendlich kann für diese Region der Winterzwischenfruchtanbau nicht sehr positiv geheißen werden, fällt aber dennoch günstiger aus als in Magdeburg.

Unter kritischer Betrachtung der Wasserbilanzen der Sommer- und Winterzwischenfrüchte hat sich herausgestellt, dass der Sommerzwischenfruchtanbau weniger lohnenswert ist. Dieses ist an den immer negativ ausfallenden Wasserbilanzen festzumachen. Eine Ausnahme stellt die Phacelia dar, welche einen geringen Wasserverbrauch in der Vegetationsperiode (64,98 mm) aufweist und aufgrund der verhältnismäßig geringen Evaporation in dieser Zeit eine relativ positive Wirkung auf die Wasserbilanz zeigt. Der Inkarnatklee eignet sich mit seinem erhöhten Wasserverbrauch nicht so gut für den Sommerzwischenfruchtanbau.

Der Winterzwischenfruchtanbau gestaltet sich im Vergleich dazu an allen drei untersuchten Standorten sichtbar vorteilhafter, was auf die weniger negativ, sondern verstärkt auch positiv ausfallenden Wasserbilanzen zurückzuführen ist. Hildesheim behält durchgängig die günstigste Position im Sommer- sowie Winterzwischenfruchtanbau gegenüber den anderen Stationen, was nicht unbedingt bedeuten darf, dass sich der Zwischenfruchtanbau in den anderen Regionen gar nicht lohnt. Bei der stark simplifizierten Rechnung, die den oben getätigten Aussagen hinterlegt ist, darf nie vergessen werden, dass die Natur ein sehr viel komplexeres System darstellt. Das Bodenwasser unterliegt einer ständigen Dynamik von Verbrauch und Zufuhr. Bei den dargestellten Wasserbilanzen wird immer der Zeitraum der Vegetation der jeweiligen Zwischenfrucht betrachtet. So gesehen werden nur die Niederschlagsereignisse über diese Monate erfasst und der Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte über den Zeitraum berücksichtigt. Es darf dabei nicht vergessen werden, dass vor Beginn Aussaat der Zwischenfrüchte der Bodenwassergehalt nicht gänzlich aufgebraucht ist.

Zwischen der Hauptkultur und der später eingesäten Zwischenfrucht liegen einige Tage, deren Niederschlagsaufkommen eigentlich berücksichtigt werden müsste. In der Fruchtfolgeunter-

suchung in Kapitel 5.3 sind die Zeitphasen vor und nach der Zwischenfrucht mit einbezogen worden, um prüfen zu können, wie sich die Wasserversorgung des Bodens im Frühjahr zur Aussaat der Hauptkultur verhält.

Im Allgemeinen ist zu erwähnen, dass ein Referenzzeitraum von sieben Jahren nicht ausreichend genug ist, um wirklich deutliche Aussagen über die Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten zu machen. Dabei darf auch die landwirtschaftliche Praxis nicht aus den Augen gelassen werden. Wie z.B. in der Standortbeschreibung von Hildesheim und Lüchow-Dannenberg ersichtlich, werden dort ohne Zweifel Zwischenfrüchte angebaut. Auch wenn witterungsbedingt Engpässe eintreten können.

Den Auswertungen ist zu entnehmen, dass der Faktor Niederschläge eine große Bedeutung bezogen auf die Wasserhaushaltung von Zwischenfrüchten spielt. Das Element Wasser ist für die Pflanzen lebensnotwendig. Außerdem spielt die Verteilung der Niederschläge eine erhebliche Rolle in der Beurteilung zur Anbauwürdigkeit der Zwischenfrüchte.

Der Wasserverbrauch der Pflanzen unterliegt in der Rechnung aufgrund von Vereinfachungen nur einer Abhängigkeit vom TK der Pflanzen und ihrem Ertrag. Zusätzlich wurde die Evaporation miteinbezogen.

Um die in der Zielsetzung dieser Arbeit aufgeworfene Frage zu beantworten, wie viel Niederschläge fallen müssen, damit sich der Anbau von Zwischenfrüchten lohnt, müssten eigentlich weitere Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Zu diesen gehören u.a. die Abhängigkeitsfaktoren der Verdunstung, wie in Kapitel 2.2 (Bodenwasser) beschrieben. Einen weiteren bedeutenden Aspekt, stellt der Boden dar, der das Wasser für die Pflanzen verfügbar macht. Auf den Einfluss des Bodens wird allerdings erst in Kapitel 6.2 genauer eingegangen.

Grob kann gesagt werden, dass für die ausgewählten Zwischenfrüchte folgende Mindestniederschlagsmengen benötigt werden:

Tabelle 30: Mindestniederschlagsmengen zur Deckung des Wasserbedarfs der Pflanzen

	Transpiration	Evaporation	Mindestniederschlagsmengen
Sommer-Inkarnatklee	175	79,2	254,2
Phacelia	64,98	61,8	126,78
Winter-Inkarnatklee	266	88,2	354,2
Winterrübsen	250	88,2	338,2

Angaben in mm

Für eine gute Bestandesetablierung und einen sicheren Ertrag sollten diese Niederschlagsmengen natürlich überschritten werden. So kann auch der Bodenwasservorrat aufgefüllt werden.

Allerdings muss an dieser Stelle auch erwähnt werden, dass unsere Berechnungen zur Transpiration der Pflanzen von Erträgen ausgehen, die in der Literatur zu finden sind. Es handelt sich somit nur um Standardwerte mit zumeist Höchstertragserwartung, die in der Praxis aber meist nicht erreicht werden können. Bei Niederschlagsdefiziten werden zunächst die Erträge geringer ausfallen.

Aus der Tabelle 30 wird wieder ersichtlich, dass ein Standort wie Magdeburg mit Niederschlagsmengen im Bereich von nur 100 mm im Zeitabschnitt des Sommerzwischenfruchtanbaus und knapp 300 mm im Zeitraum des Winterzwischenfruchtanbaus auf lange Frist nicht als sehr erfolgreicher Anbaustandort gelten kann. Denn allein die Pflanzen verbrauchen mit Ausnahme des Phacelias über die Vegetation 200 mm und mehr.

6.2. Auswertung des 2. Untersuchungsteils (Bodenwasserhaushaltsrechnung)

Nach weiterer Auseinandersetzung mit der Thematik und bei der Deutung der Diagramme zur Wasserbilanz der Zwischenfrüchte in Abschnitt 6.1 ist aufgefallen, dass neben den konstant angenommenen Transpirationswerten für Boden und Pflanze noch ein weiterer Punkt nicht ganz den realistischen Umständen unter natürlichen Bedingungen entspricht.

Bei Ermittlung der Wasserbilanzen ist zu Beginn der Vegetationsperiode der jeweiligen Zwischenfrucht von einem Wassergehalt von „Null“ ausgegangen worden, was so nicht korrekt ist.

Aus diesen Gründen sollen in folgendem Abschnitt die Erläuterungen zu der Bodenwasserhaushaltsrechnung aus Kapitel 5.3 aufgeführt werden. In der Auseinandersetzung mit Fruchtfolgen szenarien in dem genannten Kapitel wird versucht, unter Einbezug der nFK ausgewählter

Böden und ebenfalls variierender Verdunstungswerte einen realistischen Verlauf der Bodenwassergehalte über ein gesamtes Jahr abzubilden.

Es ist von Bedeutung den Zwischenfruchtanbau im Zusammenhang einer gesamten Fruchtfolge zu betrachten. Der Anbau von Zwischenfrüchten dient der Artenerweiterung von Fruchtfolgen. Es kann auf diese Weise eine Stabilisierung des Systems Boden-Pflanze erreicht werden (HAMPL, 1996).

Für ein besseres Verständnis der folgenden Erläuterungen und Deutungen sollten die Diagramme aus Kapitel 5.3, die Klimadiagramme aus Anhang I und das für die Untersuchung zugrunde gelegte Datenmaterial (Anhang I, Tabellen-Anhang 1-12 und Abbildung-Anhang 1-6) herangezogen werden.

Fokus auf die Fruchtfolge mit Zwischenfrucht

Generell ist festzustellen, dass in allen Stationen Unterschiede zwischen einem trockenen Jahr (2003) und einem feuchten Jahr (2007) gemacht werden müssen.

Im trockenen (**2003/2004**) Jahr wird deutlich, dass die Bilanzierungswerte unter Null liegen, daraus ist abzuleiten, dass sich der Bodenwassergehalt zu keinem Zeitpunkt aufzufüllen beginnt. Unterschiede liegen nur in der Höhe der negativen Ausprägung zwischen den einzelnen Stationen. In Hildesheim wird ein Anstieg der Kurve des Bodenwassergehaltes während des Zwischenfruchtanbaus sichtbar. Der Verlauf zeigt sich in Magdeburg völlig anders. Hier fällt die Kurve während dieser Zeit mit kleinen Schwankungen weiter ins Negative. Gründe dafür sind die bessere Verteilung und höheren Winterniederschläge in Hildesheim. Dannenberg besitzt aufgrund der geringen nFK des Bodens grundsätzlich eine schlechtere Voraussetzung für den Anbau der Zwischenfrucht. Wie in der Standortbeschreibung erwähnt, zählt Dannenberg eher zu den Roggenanbaugebieten. Roggen kann sich dort aufgrund seiner besseren Nährstoffaneignung trotz des sandigen Bodens besser entwickeln. Weizen verbraucht wegen seines hohen Transpirationskoeffizienten und hohen Gesamtbiomasseerträgen viel Wasser. Zusätzlich verschärft sich die Lage mit dem relativ trockenen Sommer 2003.

Im Gegensatz dazu lässt sich für das verhältnismäßig feuchte Jahr **2007/2008** herausstellen, dass sich zum Ende des Weizenanbaus der Bodenwassergehalt in Hildesheim positiver darstellt als in Magdeburg. Denn dort ist aufgrund der unregelmäßigen Niederschläge während der gesamten Fruchtfolgeanalyse der Bodenwassergehalt starken Schwankungen unterlegt. In Hildesheim sind nur geringe Schwankungen erkennbar, was insgesamt einen stetigen Anstieg mit sich zieht. Am 9.11.2007 wird mit einem Bodenwassergehalt von 225,33 mm die nutzbare

Feldkapazität der Parabraunerde aufgefüllt (s. Anhang I; Tabelle-Anhang 3). Die zusätzlichen Wassermengen, die ab diesem Tage noch fallen, werden höchstwahrscheinlich versickern und somit zur Grundwasserneubildung beitragen. Anhand der Abbildung 54 im Kapitel 5.3 wird ersichtlich, dass im Frühjahr 2008 genügend Wasser (348,79 mm) für die Entwicklung der Zuckerrüben zur Verfügung gestanden hätte und sich eine Fruchtfolge mit den Gliedern Weizen und Winter-Inkarnatklée in solch einem feuchten Jahr wie 2007/2008 für Hildesheim durchaus lohnen würde. Da der Landwirt selber keine Vorhersagen treffen kann, sollte er Wetterprognosen für die Aufstellung seiner Fruchtfolgen mit einbeziehen. Außerdem müssen für die langfristige Betrachtung auch die globalen klimatologischen Veränderungen, wie in Kapitel 5 schon beschrieben, Berücksichtigung finden.

Trotz der stark ausgeprägten Schwankungen des Bodenwassergehaltes in der Region Magdeburg und dem somit im Vergleich zu Hildesheim nur gering ausfallenden Anstieg sind in der gesamten Fruchtfolgebetrachtung Wasservorräte im Boden vorhanden. Allerdings wird das Potenzial der Schwarzerde nie vollständig ausgenutzt. Die Zuckerrüben können mit den Bodenwassergehalten von 72,34 mm im Frühjahr zwar erste Entwicklungen vollziehen, wenn jedoch ein Trockenmonat folgt, wie zum Beispiel der Mai 2008 mit nur 3,1 mm Niederschlag, kommt es mit Sicherheit zum Trockenstress der Pflanzen.

Genau wie im Jahre 2003 wird in Dannenberg nach der Aberntung des Weizens (31.07.2007) von einem negativen Bodenwassergehalt ausgegangen, obwohl erhöhte Niederschläge im Sommer 2007 vorzufinden sind. Dennoch spielt hier wieder die geringe nFK den entscheidenden Schlüsselpunkt. Die geringen Niederschläge im Oktober und November 2007 führten zu einem starken Einbruch der Werte. Darauf folgend nehmen die Bodenwassergehalte aufgrund der geringen Transpiration durch die Pflanze (=Vegetationsruhe) und der geringeren Bodenverdunstung zu. Die Phase danach ist durch den Anstieg des Bodenwassergehaltes bis zum 29.02.2008 geprägt. Ab diesem Tage beginnt sich in Dannenberg der Podsolboden aufzufüllen. Jedoch wird wegen der geringen Aprilniederschläge im Jahr 2008 eine Auffüllung der nFK nicht erreicht. Es wird letztendlich nur ein geringer Bodenwassergehalt von 0,34 mm bis zur Aussaat der Zuckerrübe erlangt.

Fokus auf die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Es liegen für alle Regionen gleiche Voraussetzungen, so auch beim Anbau von Klee, vor. Bei Betrachtung der Bodenwasserhaushaltskurven für die drei Gebiete, ist festzustellen, dass sich in der Hildesheimer Börde im Vergleich zu den anderen Standorten die Kurven besser entwickeln. Die ungünstigen Bodenwasserbedingungen nach Beerntung des Weizens führten dazu,

dass sich trotz der hohen Niederschläge im Januar 2004 (118mm) der Bodenwassergehalt bis Ende Januar unter Null hielt. Danach kann anhand der im positiven Bereich verlaufenden Kurve ersehen werden, dass die Niederschläge höher waren als die Verdunstung. Es kam so zur langsamen Auffüllung der Parabraunerde.

Magdeburg und Dannenberg zeigen 2003/2004 beide ähnliche Verläufe der Bodenwassergehalte. Zwar reicht dieser in Dannenberg mehr in den negativen Bereich, er zeigt jedoch eine größere Spanne von Beginn bis Ende des Betrachtungszeitraumes als der von Magdeburg, das heißt, dass dort mehr Niederschläge gefallen sind.

Der Verlauf der Bodenwassergehalte in den Regionen Magdeburg und Hildesheim verhält sich im Jahr 2007/2008 annähernd gleich. Während der gesamten Vegetationsperiode wurden Werte ermittelt, die deutlich über Null liegen. In Hildesheim hat sich nach Aberntung des Weizens wegen der hohen Niederschläge im Sommer 2007 die nFK zur Hälfte aufgefüllt. Aufgrund dessen und wegen der anhaltenden Niederschläge konnte schon zum 28.09.2007 die vollständige nFK erfüllt werden. Durch die geringe Gesamtverdunstung aufgrund der mangelnden Pflanzenbedeckung ist der Boden in der kompletten Zeit gesättigt. Es kann somit auch bei hohen Niederschlägen zu Oberflächenabfluss kommen. Dieser tritt vor allem im Winter ein, wenn der Boden gefroren ist. Bei der Schwarzbrache treten Sickerwassermengen auf, die zur Grundwasseraufbesserung dienen können. Ähnliches kann im gleichen Jahr mit Pflanzenbedeckung beobachtet werden.

Magdeburg zeigt aufgrund der geringeren Niederschläge nicht einen so deutlichen Anstieg. Es wird über den Betrachtungszeitraum kontinuierlich die nFK aufgefüllt, sodass am Ende diese mit 86 Prozent knapp aufgefüllt ist. Wie auch im Jahre 2007 mit Pflanzenbedeckung sind bei der Schwarzbrache Schwankungen ersichtlich, was auf die schlechten Niederschlagsverteilungen zurückzuführen ist. Im Anhang I (siehe Abbildungen-Anhang) ist zu sehen, dass Niederschlagslücken besonders in den Monaten Oktober, Dezember 2007 und Februar 2008 aufgetreten sind. Dieses ist auch an den Klimadiagrammen im Anhang I festzumachen. In Hildesheim treten auch im Oktober 2007 und Februar 2008 Lücken auf, die allerdings weniger stark ausgeprägt sind als in Magdeburg. In Hildesheim sind die genannten Monate nicht so niederschlagsarm wie in Magdeburg. Zudem ist zu erwähnen, dass die Niederschlagsausfälle einzelner Tage in Hildesheim deutlich höher ausfallen.

Im Jahr 2007 nimmt die Schwarzbrache in Dannenberg eine Sonderstellung ein. Beginnend mit einem negativen Wert für den Bodenwassergehalt steuert dieser am 02.12.2007 um. Wegen der folgenden hohen Niederschläge im Januar 2008 wurde die vollständige nFK am

29.02.2008 erreicht. Die darüber hinaus fallenden Niederschläge werden wegen gesättigten Bodens dem Grundwasser zugeführt.

Zusammenfassend kann generell gesagt werden, dass die Kurven zum Bodenwassergehalt bei Schwarzbrache günstiger ausfallen, da durch die fehlende Pflanzenbedeckung nur die reine Evaporation berücksichtigt werden muss, welche zudem in den Wintermonaten geringer ausfällt. Deshalb verbraucht eine Schwarzbrache weniger Wasser als eine Zwischenbegrünung. In den Stationen sind die Kurven aber grundsätzlich unterschiedlich ausgefallen. Sie liegen auch nicht unbedingt immer bei einem positiven Bodenwassergehalt. Dieses ist zurückzuführen auf die unterschiedlichen Niederschlagsausprägungen in den Regionen. Aus den mehrjährigen Klimadiagrammen in Kapitel 5.2 geht hervor, dass die durchschnittlichen Jahresniederschläge in Hildesheim am höchsten sind und in Magdeburg am geringsten ausfallen.

Viele Landwirte begründen ihr Argument für die Wahl einer Schwarzbrache über den Winter mit der oben genannten Schlussfolgerung, der geringeren Wasserzehrung. Die Untersuchungsergebnisse lassen die Spekulation zu, dass in Gebieten mit Trockenlandwirtschaft in manchen Jahren gezielt Schwarzbrachen vorgesehen sind, um die Bodenwassergehalte für die Pflanzen aufzufüllen.

Vorteile einer Schwarzbrache liegen zudem in ihrem geringeren Arbeits- und Kostenaufwand, was bei der Fruchtfolgegestaltung eine maßgebliche Rolle spielt. Die Unterbrechung der „Grünen Brücke“ ist ebenfalls als Vorteil der Schwarzbrache herauszustellen. Durch die fehlenden Pflanzen kann vermieden werden, dass Krankheiten über den Winter in diesen überdauern.

Der Nachteil der Schwarzbrache besteht im erhöhten Sickerwasseranteil, was zu Nährstoffverlusten führt aufgrund von Auswaschung in den Unterboden. Es gehen dadurch hauptsächlich die Nährstoffe N, P, K und Ca verloren. Laut RENUIS und ENTRUP (1992) können unter Schwarzbrache bis zu 60 % der Jahresniederschläge versickern, daraus kann geschlossen werden, dass in Wassergewinnungsgebieten Schwarzbrachen aufgrund der hohen Nitratauswaschung nicht geeignet sind. Die fehlende Pflanzendecke macht den Boden anfälliger gegenüber Wind- und Wassererosion, was die Bodenaggregate zerstört. Dies kann bei länger anhaltenden starken Niederschlägen, zum Beispiel im September 2007 in Hildesheim, oder bei auf Trockenphasen folgenden Starkniederschlagsereignissen dazu führen, dass der Boden das Wasser nicht aufnimmt. Bei gesättigten Böden kann dies eine Verschlammung und den Abtrag der obersten Bodenschicht zur Folge haben (DWD, 2008 a). In trockenen Jahren, wie z.B. 2003, besteht eine hohe Gefährdung für Winderosion und Austrocknung der Böden. In 2003

kam es aufgrund geringer Niederschläge und erhöhter Temperaturen zur Verkrustung des Oberbodens. (SCHULZE-WEXT, 2008).

Schwarzbrachen weisen im Gegensatz zu Begrünungsbeständen keine positiven Vorfruchteffekte auf. Zum Aussaatzeitpunkt der Hauptfrucht im Frühjahr ist vielleicht mehr Wasser im Boden vorhanden, aber das reduzierte Nährstoffangebot der Böden beeinträchtigt eine gesunde Anfangsentwicklung der Folgekultur. Eine mangelnde Anreicherung von organischem Material wirkt sich negativ auf die Humusbilanz aus (FREYER, 2003). Zudem bewirkt Schwarzbrache einen Strukturverlust des Bodens.

Für eine Fruchtfolge mit integrierter Zwischenfrucht können anhand der Berechnungen und verschiedener Literatur viele Vor- und Nachteile herangezogen werden. Pflanzenbegrünung bewirkt neben ihrem Verbrauch von Wasser auch eine gewisse Fixierung dessen, sodass vergleichbar zur Schwarzbrache wesentlich weniger Wassermengen versickern (33 % der Jahresniederschläge; RENIUS/ENTRUP, 1992). Zwischenfrüchte sind somit in der Lage, Nährstoffe zu binden und schützen u.a. vor Nitratauswaschung. Leguminosen, wie auch der ausgewählte Inkarnatklee, sollten in Wasserschutzgebieten aufgrund der Anreicherungen von Stickstoff nicht zum Anbau kommen (FREYER, 2003). Ansonsten sind Zwischenfruchtmaßnahmen im Natur- und Wasserschutz als Vertragsbausteine gängige Praxis (INGUS, 2007). Durch die Bedeckung des Bodens mit Pflanzen ist dieser geschützt gegenüber direkter Sonneneinstrahlungen und Niederschlägen. Dadurch wird es im Vergleich zur Schwarzbrache weniger zu Wassererosion kommen. Der Boden ist durch die Pflanzenbeschattung gegenüber Wind geschützt. Die Beschattung durch dichte Zwischenfruchtbestände dient ebenfalls der Unkrautregulierung. Es können somit Herbizide eingespart werden. Zwischenfrüchte verbessern die Bodengare durch Förderung des Bodenlebens und Bildung von ober- bzw. unterirdischer Biomasse (PROBST et al., 1982). Mit der Auswahl des Klees als Zwischenfruchtglied in einer Rübenfruchtfolge, können ähnlich wie auch beim Gelbsenf positive Wirkungen bezüglich der Nematodenbekämpfung erzielt werden. Deshalb haben wir für unsere Rechnungen Klee als Vorfrucht zur Zuckerrübe ausgewählt.

Neben den vielen Vorteilen müssen auch die Nachteile gesehen werden. Darunter fallen die Kosten für das Saatgut und die Bestellung. Saatgutpreise für Zwischenfrüchte liegen bei 35 Euro pro Hektar (KAHNT, 2008). Diese können aber auch, wie bei Lupinen zum Beispiel auf 190 Euro je Hektar hochgehen. Für den Inkarnatklee müssten 80 Euro pro Hektar angesetzt werden. Um einen Bestand zu etablieren, sind, mit Ausnahmen der Kleesorten, Düngungen mit Stickstoff notwendig. Dies verursacht zusätzliche Kosten, ist aber fast unentbehrlich für

ein zügiges Wachstum der Pflanzenbestände. Zwischenfrüchte müssen in einer Fruchtfolge auf ihre Verträglichkeit mit den anderen Fruchtfolgegliedern abgestimmt werden.

Sicherlich ist der Wasserverbrauch der Zwischenfrucht, welcher, wie aus den Untersuchungen hervorgeht, nicht zu leugnen ist, auch ein Nachteil des Zwischenfruchtanbaus. Allerdings muss diese Tatsache bei der Abwägung von Entscheidungen der Anzahl an Vorteilen gegenüber gestellt werden. Nach HAMPL (1996) sollte trotz niedrigerer Niederschläge nicht auf die Vorteile einer Begrünung verzichtet werden. Die in den Zwischenfruchtanbau investierten Wassermengen sind dort besser eingesetzt als auf einem unbewachsenen Boden.

Bodenbetrachtung

Wie sich das Wasser im Boden verhält, ist abhängig von der Bodenzusammensetzung. Die Untersuchung in Hildesheim ist am Beispiel der Parabraunerde erfolgt. Da dieser in genannter Region zum größten Teil aus Schluff, Lehm und teilweise Ton besteht, besitzen die Böden ein mittel- bis feinporiges Gefüge. Mittlere Poren sind günstiger für die Wasserspeicherung und auch für die Pflanzenverfügung. Der erhöhte Schluff- und Lehmanteil der Parabraunerde bewirkt also, dass diese eine gute Wasserspeicherfähigkeit haben. Das zeigt sich eindeutig an der hohen nFK von etwa 225 mm.

Feinporen, die vorwiegend in Tongefügen zu finden sind, halten das Wasser zu stark, sodass es für die Pflanze nicht nutzbar ist. Wegen der Witterungsprozesse (Lessivierung), die in Parabraunerden zur Verlagerung von Ton in den Unterboden geführt haben, ist dort somit ein höherer Anteil an Ton vorhanden. Dieser kann eine wasserundurchlässige Schicht darstellen, so dass Parabraunerden bei erhöhten Niederschlagsaufkommen, wie im Jahr 2007, dazu neigen, Staunässe aufzuweisen. Es kann dadurch bedingt zu starken Verschlämmungen des Oberbodens kommen. Das liegt an der dichten Partikellagerung des Bodens. Wasser kann hier nicht so schnell eindringen, wie z.B. in einem Sandboden. Der Zwischenfruchtanbau könnte unter solchen Bedingungen vor allem nach der Aussaat problematisch werden, da das Auflaufen der Pflanze beeinträchtigt wird. Grundsätzlich sind tonhaltige Böden auch nur schwer zu bearbeiten (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002; LÜTKE ENTRUP, 2001).

Die Schwarzerden in Magdeburg sind aufgrund ihrer hohen nFK (260 mm) gute Ackerstandorte. Es handelt sich um lössbetonte Böden (Schluff). Diese haben einen hohen Anteil an Mittel- und Grobporen im Oberboden. Um die Fruchtbarkeit der Schwarzerde mit ihren hohen Humusgehalten zu erhalten, ist ein Zwischenfruchtanbau zu empfehlen. Dennoch muss gesagt werden, dass die geringeren Niederschläge in der Region Magdeburg Nachteile im Anbau von Zwischenfrüchten mit sich ziehen und die nFK oftmals nicht erreicht wird. Die eigentlich

positiv zu bewertende dunkle Farbe, die zu einer schnelleren Erwärmung des Bodens führt, kann im Frühjahr beim Zwischenfruchtanbau auch als Nachteil ausgelegt werden. Bei den voraussichtlich in Zukunft milder ausfallenden Wintern (GERMANWATCH, 2008) kann aufgrund dessen die Vegetation der Winterzwischenfrucht früher einsetzen. Somit ist schon frühzeitig mit höherer Pflanzentranspiration zu rechnen, was für den Bodenwassergehalt nachteilig zu bewerten ist. Im Extremfall, wenn nicht mehr von einer Vegetationsruhe ausgegangen werden kann, wachsen die Pflanzen über den gesamten Winter und verbrauchen hohe Mengen an Wasser. Bei einem zu feuchten Winter und Frühjahr kann aber auch der Vorteil einer schnelleren Abtrocknung der Schwarzerde genutzt werden, sodass im Frühjahr weniger Schwierigkeiten bestehen den Acker zu befahren.

Ein Zwischenfruchtanbau auf den Pararendzina-Böden, die neben Schwarzerden auch häufig in der Magdeburger Börde vorkommen, kann von Vorteil sein, da diese Böden relativ erosionsgefährdet sind (LAND BRANDENBURG, 2003).

Die Podsolböden in der Region Dannenberg sind leichte, sandige Böden. Diese eignen sich gut für die Bodenbearbeitung und eine zügige Saatbettbereitung ist möglich, was sich zunächst für den Zwischenfruchtanbau günstig gestaltet (LÜTKE ENTRUP, 2001).

Wie im Kapitel 2.2 bereits erwähnt, haben die Partikel in einem Sandboden ein nur geringes Quellvermögen und wegen des grobkörnigen Gefüges des Sandes besitzt dieser einen hohen Anteil an Grobporen. Das bewirkt ein geringes Haftvermögen. Aufgrund dessen kann grundsätzlich nicht so viel Wasser gespeichert werden und es kommt schneller zu Versickerungen. Dieses spiegelt sich in der relativ geringen nutzbaren Feldkapazität des Podsolbodens von etwa 100 mm wieder.

Die Wasserkapazität wird in Sandböden schneller aufgefüllt als in mittel bis schweren Böden. An den Rechnungen zur Untersuchung würde das ersichtlich werden, wenn wir nicht aus Vergleichsgründen mit den anderen Standorten, mit Weizen in der Fruchtfolge gearbeitet hätten. Roggen, der einen ähnlichen Transpirationskoeffizient wie Weizen hat, aber einen geringer zu erwartenden Ertrag, weist somit einen niedrigeren Wasserverbrauch auf. Daher würde sich der Anbau von Roggen in der Fruchtfolge am Standort Dannenberg in Hinblick auf die Bodenwassergehalte besser gestalten. Zudem würde der Boden in diesem Fall weniger stark beansprucht.

Als Alternative sollte wegen des hohen Transpirationskoeffizienten des Klees in Dannenberg eine andere Zwischenfrucht für den Winter ausgewählt werden. Die Bodenansprüche des Klees zeigen auf, dass sich dieser nicht besonders gut für den Anbau auf zu nährstoffarmen

und sandigen Böden, wie der Podsol ihn darstellt, eignet (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL 2002; KOLBE, 2004). Generell können stark ausgeprägte Ortsteinhorizonte, die in Podsolböden nicht selten vorkommen, Schwierigkeiten bei der Etablierung, besonders der Wurzeltiefenentwicklung, der Pflanzen darstellen (SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL, 2002).

In Regionen wie Dannenberg, die durch derart leichte Bodenlandschaften geprägt sind, werden häufig Beregnungsanlagen für die landwirtschaftliche Produktion eingesetzt. Die Einrichtung von Beregnungen ist sehr aufwendig und kostet Geld, deshalb werden Beregnungsmaßnahmen genau kalkuliert und kommen nur in Hauptanbaukulturen zum Einsatz. Für den Zwischenfruchtanbau würde solch ein Aufwand nicht betrieben.

Schlussendlich kann herausgestellt werden, dass Hildesheim im Vergleich zu den beiden anderen Regionen einen sicheren Anbaustandort für Zwischenfrüchte abgibt. Dieses ist neben seiner guten Bodengüte vordergründig auf das hohe Niederschlagsaufkommen zurückzuführen. Hier bestätigt sich die in der Literatur getroffene Aussage, dass Standorte mit Jahresniederschlägen mit mehr als 600 mm und mittleren Böden generell keine Probleme mit dem Zwischenfruchtanbau und vor allem auch der Versorgung der Hauptkultur haben (siehe Kapitel 5). Magdeburg hingegen gehört laut eigener Klimaermittlung zu den Standorten, die unterhalb dieser jährlichen Niederschlagsmengen bleiben. Die Bodenqualität in Magdeburg ist zwar in der Lage, Hauptkulturen mit einer integrierten Zwischenfrucht tragen zu können. Aber der ausschlaggebende Faktor in dieser Region ist der Niederschlagsmangel („Regenschatten des Harzes“), der bei einer solchen Fruchtfolgegestaltung Schwierigkeiten erbringen könnte. In Dannenberg dagegen sieht dieses, den Niederschlagsmengen nach zu urteilen, weniger problematisch aus als in Magdeburg. Es könnte hier eher zu Engpässen bezüglich der weniger gut speichernden Böden kommen. Der Zwischenfruchtanbau an einem Standort wie Dannenberg kann allerdings auch als Gelegenheit angesehen werden, die ungünstigen Bodenverhältnisse aufzubessern, indem durch Begrünung die Bodenfruchtbarkeit und damit auch die Wasserspeicherfähigkeit des Bodens angehoben werden kann.

Der springende Punkt zur Beurteilung der landwirtschaftlichen Nutzungswürdigkeit eines Standortes ist, wie sich in den Auswertungen deutlich ersehen lässt, der Witterungsverlauf auf das ganze Jahr und besonders auf die Vegetationsperiode bezogen. Nach BEINHAUER 1977 (aus: LÜTKE ENTRUP, 2001), können Wachstum und Ertrag einer Zwischenfrucht zu 70% und mehr durch Witterungsfaktoren erklärt werden. Dazu gehören insbesondere die photosynthetisch aktive Strahlung, Temperatur von Boden und Luft, die Boden- und Luftfeuchtigkeit und ganz besonders auch die Niederschlagsmengen. Liegt auch noch so ein guter Boden vor,

der über ausreichend Nährstoffe für die Pflanzen verfügt, können diese nur gedeihen, wenn ausreichend Wasser zur Verfügung steht. Als Beispiel kann hier die in den letzten Jahren immer häufiger auftretende Frühjahrstrockenheit genannt werden, die zu Wasserknappheit und Trockenstress der Pflanzen führt.

Wasser stellt also, wie vielfach aus der Literatur bekannt, einen begrenzenden Faktor in der Pflanzenproduktion dar.

6.3. *kritische Stellungnahme*

Mit Bearbeitung des Themas „Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Wasserhaushalt von Böden“ sind uns mit Reflexion auf die durchgeführten Untersuchungen Kritikpunkte aufgefallen.

Schon durch die unterschiedlichen Angaben für die Transpirationskoeffizienten in der Literatur war es für uns schwierig gewesen, ein Mittelmaß zu finden. Diese Zahlen waren jedoch für die Ermittlungen zum Wasserverbrauch von großer Wichtigkeit. Ebenfalls mussten Daten über die Erträge, der verwendeten Kulturen herangezogen werden. Diese Werte sollten in unserer Arbeit durchaus einer kritischen Betrachtung unterliegen, da es sich um reine Literaturangaben handelt, die oftmals Höchstertträgen entsprechen und somit nicht immer praxistauglich sind. Besser wäre es an dieser Stelle gewesen, standortspezifische Erträge der Kulturen zu nutzen. Jedoch liegen in der Statistik kaum solche Zahlen vor, sodass Versuche auf den unterschiedlichen Standorten von Vorteil gewesen wären.

Die von uns erarbeitete Thematik ist noch längst nicht ausgeschöpft. In einer erweiterten wissenschaftlichen Arbeit könnten zum Beispiel Lysimeterverfahren zum Einsatz kommen, um genauere Aussagen über Sickerwassermengen treffen zu können, welche wir nur aus den Ergebnissen unserer Rechnungen annehmen konnten. Auch die Auffüllung des Bodenwassers durch kapillaren Aufstieg sowie jahreszeitlich bedingtes Auftreten von Oberflächenabfluss muss unter naturgetreuen Bedingungen einkalkuliert werden. Wir haben diesbezüglich nur wage Aussagen treffen können, entsprechend der aus unseren Untersuchungen hervorgegangenen Resultate. Eine genaue Bodenuntersuchung und das Messen von Grundwasserständen hätte genaueren Aufschluss darüber geben können. Allerdings hätte dies auch den zeitlichen und thematischen Rahmen der Bachelorarbeit gesprengt.

Die unseren Untersuchungen zugrunde liegenden (Bilanzierungs-)Rechnungen gehen auf logische Überlegungen zurück und basieren überwiegend nur auf empirischen Daten, u.a. auf die verwendeten Transpirationswerte.

Die Ermittlung der Verdunstung hätte auch über diverse Rechenverfahren, wie der Penman-Methode oder der „modified Penman-Monteith“ Formel erfolgen können. Eine andere Möglichkeit stellt das einfache Verfahren nach Haude dar. Es geht aus dem Dalton-Ansatz hervor und war die erste Methode zur Berechnung der Verdunstung in Deutschland (1955). Die nähere Auseinandersetzung mit der Haude-Verdunstung ließ uns feststellen, dass in der Formel auch großteils mit empirischen Werten, siehe den Haudefaktoren, gearbeitet wird. Außerdem wird von gut wasserversorgten Böden ohne Mangel ausgegangen. Weiterhin kann mit der Haude-Formel keine getrennte Betrachtung von Boden- und Pflanzenverdunstung erfolgen. Es lassen sich wiederum nur ungenaue Aussagen über die Verdunstung einzelner Tage machen, was für die Untersuchungen im Rahmen dieser Bachelorarbeit unzureichend gewesen wäre (DVWK, 1996).

Seit wenigen Jahren gibt es ein neues Verfahren zur Transpirationsberechnung. Es handelt sich um die FAO-56 „Dual Crop Coefficient“ Methode. Diese Methode basiert ebenfalls auf empirischen Werten, allerdings können Boden- und Pflanzenverdunstung getrennt voneinander ermittelt werden (KAIMBACHER, 2007). Alle genannten Verfahren erfordern einen mehr oder weniger hohen Aufwand und es wird eine Reihe weiterer meteorologischer Parameter benötigt, die für diese Bachelorarbeit nicht zur Verfügung gestanden haben.

Aus dem Grunde wurde in der vorliegenden Bachelorarbeit mit selbst angenommenen Erfahrungswerten gearbeitet, welche allerdings an den folgenden Literaturquellen orientiert sind: DVWK, 1996; BAILLY, 2008; LBEG/LABG – mündliche Überlieferung, 2008.

Vielfach haben wir versucht die Rechnungsvorgänge, auf denen die Untersuchungen basieren, zu vereinfachen, was nicht unbedingt immer den realistischen und naturgetreuen Umständen entspricht.

So wurde fälschlicherweise im ersten Untersuchungsabschnitt die Annahme getroffen, dass vor Aussaat der Zwischenfrüchte ein Bodenwassergehalt von Null vorliegt. Dabei darf nicht vergessen werden, dass zwischenzeitlich immer gewisse Mengen an Wasser im Boden vorhanden sind, die auf unterschiedliche Niederschlagsverteilungen einzelner Tage zurückzuführen sind.

Eine weitere, in der ersten Untersuchung getroffene Annahme ist, dass die täglichen Verdunstungswerte in Sommer und Winter jeweils konstant sind und nicht schwanken.

Im Untersuchungsabschnitt zu den Fruchtfolgeszenarien haben wir versucht, diese Denkfehler zu berücksichtigen, indem die nutzbaren Feldkapazitäten der Standortböden und variierende Transpirationswerte mit einbezogen wurden. Außerdem werden im zweiten Untersuchungsabschnitt im Gegensatz zur Untersuchung eins die Niederschlagsereignisse jedes einzelnen Tages in und auch außerhalb der Vegetation der Zwischenfrüchte betrachtet, um genaue Aussagen über Bodenwassergehalte machen zu können.

Die Annahme einer fast aufgefüllten nFK im Frühjahr, wie in Untersuchung zwei, kann allerdings auch nicht ausnahmslos getroffen werden; sie ist wesentlich vom Witterungsverlauf im Winter abhängig. Ebenfalls hätte auch noch genauer auf die Bestandstranspiration der Pflanzen eingegangen werden können mit Verwendung der so genannten Bestandeskoeffizienten (K_c -Werte). Sie berücksichtigen Bestandeshöhe und Bedeckungsgrad der Pflanzen und kommen bei den oben genannten Verfahren nach Haude und Penman zum Einsatz.

Die von uns angenommenen Ernte-, Saat- und Vegetationszeiten basieren auf Literaturangaben. In der Praxis müssen allerdings immer Verzögerungen einkalkuliert werden. Es können Arbeitsspitzen und unerwartete Witterungsereignissen eintreten, die es erschweren auf den Acker zu kommen. Insgesamt betrachtet muss auch der zweite Untersuchungsteil in seiner Realitätsnähe hinterfragt werden.

Aus Vollständigkeitsgründen wäre es in diesem Zusammenhang sicherlich auch noch interessant gewesen den Sommerzwischenfruchtanbau in einer Fruchtfolge zu betrachten, aber das hätte den zeitlichen Rahmen gesprengt. In dem ersten Untersuchungsteil ist der Sommerzwischenfruchtanbau relativ schlecht ausgefallen. Dort wurde, wie schon erwähnt, auch nur die reine Vegetation der zwei Monate und der für diese Zeit zugrunde zu legende Wasserverbrauch betrachtet. Bei Aussaat einer Winterung nach Umbruch der Zwischenfrucht kann es bei trockenem Spätherbst sicherlich zu Auflaufproblemen für die Winterfrucht kommen. Im Fall der Aussaat einer Sommerung im nächsten Frühjahr werden nach Abfrieren der Zwischenfrüchte im Winter noch genügend Niederschläge fallen, um die Bodenwassergehalte aufzufüllen. Aber genaue Aussagen können an dieser Stelle nicht gemacht werden, da der Sommerzwischenfruchtanbau für die zweite Untersuchung nicht näher in Betrachtung genommen wurde.

Die für beide Untersuchungen festgelegten Zeitspannen für Sommer (April-September) und Winter (Oktober-März) sind nur für die Rechnungszwecke derartig strikt gegeneinander ab-

gegrenzt, um den Sommer- und Winterzwischenfruchtanbau besser herausstellen zu können. Dabei werden jahreszeitliche Übergänge nicht berücksichtigt.

In unserer Diskussion um den Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte ist die Betrachtung pflanzenphysiologischer Parameter nur mangelhaft erfolgt. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, dass Pflanzen zwar abhängig von Wasser sind, aber sie können auch kurze Trockenphasen überstehen ohne sofort abzusterben. Dazu dienen Mechanismen wie das Schließen der Stomata, was zwangsläufig eine Herabsetzung der Transpiration bewirkt. Auch Blattrollen (weniger Strahlungsinterzeption) und die begrenzte Blattausbildung sind eine Schutzfunktion vor Austrocknung. Pflanzen, die zu guter Durchwurzelung in der Lage sind wie auch teilweise die Zwischenfrüchte mit ihren Pfahlwurzeln, können das Wasser noch aus tieferen Bodenbereichen beziehen. Das bewirkt allerdings ein nachteiliges Austrocknen des Bodens bis in tiefreichende Schichten. Trockenstress von Pflanzen zieht letztendlich nicht unerhebliche ertragliche Einbußen mit sich (THOME, 2005).

Schlussendlich zeigt sich deutlich, dass die in vorliegender Bachelorarbeit erfolgten Analysen und Auswertungen zum Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte sehr wissenschaftlich und oftmals zu theoretisch ausgefallen sind. Die Natur, mit allen in ihr ablaufenden Prozessen, muss allerdings in der Realität immer als dynamisch und wandelbar gesehen werden.

7. Alternative und Empfehlungen zum/im Zwischenfruchtanbau

Wie aus den Analysen zum Wasserverbrauch der Zwischenfrüchte hervorgeht, spielen der Witterungsverlauf über das Jahr und die Anbaustandorte eine entscheidende Rolle für das Gelingen der Zwischenfruchtetablierung und die Versorgung der Hauptkulturen. Die im Kapitel 3 aufgeführte vorteilige Wirkung von Zwischenfrüchten setzt eine gute Anfangsentwicklung voraus. Nach dem Niederschlagsaufkommen in den Jahren 2000-2008 zu urteilen, können die Standorte Hildesheim als gut wasserversorgt, Dannenberg als trocken und Magdeburg als sehr trocken eingeordnet werden.

Für ausreichend mit Wasser versorgte Standorte (> 600 mm/Jahr) wie Hildesheim lassen sich prinzipiell keine großen Einschränkungen im Zwischenfruchtanbau machen. Selbst in trockene-

nen Jahren sowie Phasen geringer Niederschläge im Sommer ist der Zwischenfruchtanbau in solchen Regionen immer noch sicherer zu gewährleisten als in trockenen Gebieten.

Es ist für die Praxis sehr wichtig, vor Anbau einer Zwischenfrucht über ihren Wasserverbrauch bescheid zu wissen. Dazu sollten die TK der Früchte herangezogen werden. Nicht jede Zwischenfrucht kann auf beliebigem Standort erfolgreich etabliert werden. Laut Literatur kann gesagt werden, dass ein Anbau von Gräsern, Senf und auch Ölrettich nur auf feuchten Standorten zu empfehlen ist (SCHRÖDER et al., 2008). Der Wasserverbrauch von Weidelgras, das zur Winter- und Sommerbegrünung dient, verhält sich wiederum mit einem TK von etwa 291 l/kg TM (KREUTZIGER, 2006) und einem Ertrag von 40 dt (LÜTKE ENTRUP, 2001) relativ günstig im Wasserverbrauch und ist somit als Mischungspartner durchaus zu empfehlen. Gräser empfehlen sich mit einem Anteil in Ansaatgemengen, da sie einen Zwischenfruchtbestand z.B. von Klee schnell und dicht schließen können. Ein weiterer Vorteil im Grasanbau liegt in seiner zügigeren Humusanreicherung im Vergleich zu Zwischenfrüchten wie Klee. Dieses ist auf die massigere Wurzelbildung der Gräser zurückzuführen (LÜTKE ENTRUP, 2001). Vorteile einer Gemengeaussaat liegen natürlich auch in einem geringeren Kostenaufwand. Zum Beispiel gestaltet sich ein reiner Anbau von Grobleguminosen wie Ackerbohnen und Futtererbsen mit Saatgutkosten von 100-120 €/ ha relativ teuer (KAHNT, 2008; LÜTKE ENTRUP, 2001).

In Regionen wie Dannenberg, die eher zu trockenen Standorten zählen, ist der Anbau von Buchweizen zu empfehlen. Dieser ist nicht so anspruchsvoll und bildet in kurzer Zeit einen dichten Pflanzenbestand aus. Nachteilig zu bewerten ist die eingeschränkte Bildung von Wurzelmasse. Deshalb ist es besser, Buchweizen nur als Mischungspartner einzusetzen, z.B. zusammen mit Phacelia. Diese ist, wie auch aus den Untersuchungen in Kapitel 5.2 hervorgeht, gut trockenheitsverträglich und verbraucht, wie ihr TK von 171 l/kg TM bestätigt, verhältnismäßig wenig Wasser. Auch Sonnenblumen sind für ihren geringeren Wasserverbrauch bekannt. Neben der Auswahl einer wassersparenden Zwischenfrucht ist unbedingt zu berücksichtigen die Grünbestände rechtzeitig zu mulchen, damit nicht so viel oberirdische Biomasse gebildet wird, welche Wasser benötigt (HAMPL, 1996).

Ein erfolgreicher Zwischenfruchtanbau in regenarmen Gebieten wie der Magdeburger Börde kann nicht ausgeschlossen werden. Dennoch ist der Anbau mit Risiko behaftet und wird nicht jedes Jahr einwandfrei gelingen. Ein Landwirt der Region, der selbst auch erfolgreich Zwischenfrüchte anbaut, hat uns seine Anbauempfehlung mitgeteilt. Er baut bevorzugt Blaue Lupine in Kombination mit Schwarzhafer an. Die Lupine erbringt einen guten Gesundungseffekt

und reichert den Stickstoffgehalt im Boden an. Der Schwarzhäfer bewirkt einen dichten Schluss des Bestandes. Preislich ist der Anbau dieses Gemenges durchaus angemessen.

Eine Alternative zum Zwischenfruchtanbau, besonders in diesen trockenen Regionen, stellt das Strohmulchverfahren dar. In extremen Trockengebieten ist dieses Verfahren dem Zwischenfruchtanbau vorzuziehen, da die leicht eingearbeiteten Strohmen gen wesentlich weniger Wasser benötigen als eine wachsende Pflanze. Gewisse Wassermengen gehen hier für die Rotteprozesse verloren. Das Mulchverfahren mit Stroh bewirkt eine verminderte Verdunstung des Bodens. Diese Methode zeichnet sich im Gegensatz zu konventionellem Pflugeinsatz im Herbst günstig aus und beeinflusst positiv die Erträge der anzubauenden Hauptkultur. Die Strohrotte zieht weiterhin Kostenvorteile mit sich, da benötigte Strohmen gen bei Getreidefruchtfolgen ohnehin von der Ernte vorhanden sind. Um die Strohrotte zu fördern, müssen allerdings Stickstoffmengen zugegeben werden.

Grundsätzlich kann das Auflaufen von Zwischenfrüchten in trockenen Jahren, egal welcher Standort, begünstigt werden durch eine direkte Aussaat unter die liegen gebliebenen Strohmassen nach Aberntung von Getreide. Das Stroh stellt einen Auflaufschutz für die Zwischenfrucht dar, weil es vor Austrocknung schützt (SCHRÖDER et al. 2008).

Zusammenfassend zeigt sich, dass die für unsere Untersuchung ausgewählten Zwischenfrüchte nicht unbedingt repräsentativ für alle drei Standorte sind, da ausgenommen der Phacelia die beiden anderen Zwischenfrüchte, Inkarnatklee und Winterrüben, wie sich durch die hohen TK zeigt, relativ viel Wasser benötigen.

Laut ISIP (2008) sind für den Anbau in Fruchtfolgen bestimmte Zwischenfrüchte zu empfehlen. Für reine Getreidefruchtfolgen können grundsätzlich alle Zwischenfruchtarten zum Einsatz kommen. Es wird nicht auf Unverträglichkeiten hingewiesen.

In Fruchtfolgen mit Kartoffeln sollte die Anfälligkeit dieser für Nematoden berücksichtigt werden. Hier können resistente Zwischenfruchtarten wie Ölrettich, Lupinen und Weidelgras zum Einsatz kommen. Auch Klee und Phacelia können, so in der Artenbeschreibung in Kapitel 3.3 dargestellt, zu diesem Zweck eingesetzt werden. Die krankheitsunterdrückende Wirkung von Gelbsenf kann der Eisenfleckigkeit bei Kartoffeln vorbeugen.

Im Zuckerrübenanbau steht auch die Eindämmung des Rübennematoden im Vordergrund. Nematodenresistenter Senf und Ölrettich sind hier zu empfehlen. Daneben gibt es eine Reihe neutral wirkender Zwischenfrüchte. Dazu gehören Phacelia und Gräserarten sowie Legumino-

sen, wie die Lupine, Futtererbse und Klee gras. Beim Anbau von Raps, Rüben und Stoppelrüben, muss beachtet werden, dass diese Wirtspflanzen für die Nematoden darstellen.

Beim Anbau von Raps, welcher sehr anfällig für die Erkrankung an Krebs und Kohlhernie ist, sollte unbedingt der Anbau von Kreuzblütlern (Raps, Senf, Ölrettich, Stoppelrüben und auch Rüben) als Zwischenfrucht untersagt bleiben. Diese Pflanzen können als „Brücke“ für die Übertragung der genannten Krankheiten gelten.

Insgesamt ist ersichtlich, dass es eine Menge an möglichen Zwischenfrüchten gibt, die zum Einsatz kommen können. Grundsätzlich gesehen kann also jeder Standort für den Zwischenfruchtanbau mehr oder weniger gut genutzt werden.

8. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit zum Thema „Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Wasserhaushalt von Böden“ dienen die Regionen Hildesheim, Magdeburg und Dannenberg exemplarisch der Analyse zur allgemeinen Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten und der Ermittlung zum Wasserhaushalt der Böden während des Zwischenfruchtanbaus.

Ausgangspunkt der Arbeit stellen wichtige Zusammenhänge bezüglich Boden und Bodenwasser dar sowie die Bedeutung des Zwischenfruchtanbaus. So befasst sich Kapitel 2 vorwiegend mit den wichtigsten Bodenwasserparametern und deren Wechselwirkungen. Das darauf folgende Kapitel 3 konzentriert sich auf Erläuterungen zum Zwischenfruchtanbau. Es werden neben Vor- und Nachteilen der Zwischenfrüchte allgemeine Aussagen über die unterschiedlichen Anbauformen und -verfahren getroffen. Das Kapitel endet mit einer näheren Beleuchtung der zu untersuchenden Zwischenfrüchte Phacelia, Inkarnatklee (Sommer- und Winterzwischenfrucht) und den Winterrübsen. Mit diesem Kapitel kann der Theorieteil abgeschlossen werden und die notwendigen Rahmenbedingungen sind geschaffen.

Der Hauptteil der Bachelorarbeit beschäftigt sich mit Untersuchungen zum Wasserverbrauch der ausgewählten Zwischenfrüchte. Dabei widmet sich der erste Teil der Untersuchung (Kapitel 5.2) den (Boden-)Wasserbilanzen unter Einfluss der Zwischenfrüchte. Mit Hilfe der Transpirationskoeffizienten und den dazugehörigen Erträgen kann der Wasserverbrauch der Pflanzen errechnet werden. Weiterhin werden die standortspezifischen Niederschlagsmengen und die empirisch ermittelten Bodenverdunstungswerte herangezogen, um die Wasserbilanzen für die Vegetationsperiode in den Jahren 2000 bis 2007/2008 ermitteln zu können. Es können somit Rückschlüsse gezogen werden, welchen Einfluss der Faktor Niederschlag auf den Zwischenfruchtanbau hat. Weiterhin können Vor- und Nachteile von Sommer- und Winterzwischenfruchtanbau herausgestellt werden.

Schwerpunkt der zweiten Untersuchung (Kapitel 5.3) ist es, mit Hilfe täglicher Niederschlagsmengen und unter Einbezug der unterschiedlichen Bodentypen der Regionen die Entwicklung der Bodenwassergehalte zu Inkarnatklee als Winterzwischenfrucht zu ermitteln. In dieser Fruchtfolgeanalyse soll von einer 95 prozentigen nutzbaren Feldkapazität und Weizen, als Vorfrucht der Zwischenfrucht, ausgegangen werden. Im Austausch für den Klee soll der Einfluss einer Schwarzbrache auf den Bodenwassergehalt festgestellt werden, um schlussendlich auf den unterschiedlichen Wasserhaushalt der Böden unter Klee sowie Schwarzbrache einzugehen. Weiterhin gilt es in diesem zweiten Untersuchungsteil herauszufinden, welche

Bodentypen sich eher für den Zwischenfruchtanbau lohnen. Die Bachelorarbeit schließt mit Alternativen und Empfehlungen im Zwischenfruchtanbau ab.

Die Ergebnisse lassen sich in den folgenden Aussagen kurz zusammenfassen. Die untersuchten Standorte unterscheiden sich bezüglich auftretender Bodentypen und Klimaverlauf. Hildesheim nimmt mit seinen guten Böden und hohem Niederschlagsaufkommen von 749 mm/Jahr im achtjährigen Mittel die beste Position im Zwischenfruchtanbau ein. Magdeburg weist eine hohe Bodengüte, aber nur geringe Niederschlagsmengen von 535 mm/Jahr auf. Der Zwischenfruchtanbau für diese sehr trockene Region fällt insgesamt weniger lohnenswert aus. Es kann deutlich die Abhängigkeit der Anbauwürdigkeit von Zwischenfrüchten vom Witterungsverlauf herausgestellt werden. Die Region Dannenberg im Nordosten Niedersachsens tritt mit Jahresniederschlägen von 626 mm hinter Hildesheim zurück und die Bodenqualität ist eingeschränkt. So nimmt Dannenberg klimatologisch gesehen eine Position zwischen Hildesheim und Magdeburg ein, wobei bei reiner Bodenbetrachtung Dannenberg hinter den beiden anderen Regionen zurücktritt. Dementsprechend ist auch der Anbau von Zwischenfrüchten kritisch zu betrachten.

Als Fazit lässt sich hervorheben, dass der Zwischenfruchtanbau nicht nur einseitig unter dem Aspekt des Wasserverbrauches betrachtet werden darf. Landwirte sollten zwar ein Augenmerk auf diesen Punkt legen, aber die Vorteile, die Zwischenfrüchte mit sich bringen, dabei nicht vergessen. In den vorliegenden Untersuchungen kann nicht zu hundert Prozent festgestellt werden, welcher Standort wirklich der bestgeeignetste für den Zwischenfruchtanbau ist. Selbst eine sehr hohe Bodengüte als Voraussetzung für den Zwischenfruchtanbau verändert nicht die Tatsache, dass das unbeeinflussbare Klima eine entscheidende Bedeutung trägt, nicht nur für das Gedeihen von Zwischenfrüchten, sondern für alle anderen Kulturen auch.

*„Die Zubereitung der Brache
ist die wichtigste Arbeit im Feldbaue,
denn davon hanget
die Fruchtbarkeit mehrerer Erndten hintereinander ab.“*

(Droop 1902)

Literaturverzeichnis

- ALLEN, R.; PEREIRA, L.; RAES, D.; SMITH, M. (1998): Crop Evapotranspiration, Guidelines for Computing Crop Water Requirements, FAO Irrigation and Drainage Paper 56, 300 pp. FAO, Rom, Italien
- DEUTSCHER WETTERDIENST (2008): Frankfurter Straße 135, 63067 Offenbach, Daten im Anhang
- DVWK (1996): Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Ermittlung der Verdunstung von Land- und Wasserflächen, Verlag Kommissionsvertrieb Wirtschafts- und Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH, Bonn
- EHLERS, W. (1996): Wasser in Boden und Pflanze – Dynamik des Wasserhaushalts als Grundlage von Pflanzenwachstum und Ertrag, Eugen Ulmer Verlag GmbH & Co.; Stuttgart
- FREYER, B. (2003): Fruchtfolgen – Konventionell, Integriert, Biologisch, Eugen Ulmer Verlag GmbH & Co., Stuttgart
- FOCK, T. (2007): Skript zur Lehrveranstaltung Agrarpolitik II, Wintersemester 2007/2008, Neubrandenburg
- GEISLER, G. (1988): Pflanzenbau, ein Lehrbuch – biologische Grundlagen und Technik der Pflanzenproduktion, 2. Auflage, Parey Verlag, Berlin
- GEISLER, G. (1991): Farbatlas landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, Eugen Ulmer Verlag GmbH & Co., Stuttgart
- GROSSE HOKAMP, H. (2007): Skript zur Lehrveranstaltung Angewandter Pflanzenschutz, Sommersemester 2007, Neubrandenburg
- HAMPL, U. (1996): Gründung – Grundlage der Bodenfruchtbarkeit, Leopold Stocker Verlag, Graz und Stuttgart
- INGUS (2007): Ingenieurdienst Umweltsteuerung, Hannover, Praktikum von Charlotte Henze im Gewässerschutz
- KAHNT, G. (2008): Leguminosen im konventionellen und ökologischen Landbau, DLG-Verlag GmbH, Frankfurt am Main
- KAIMBACHER, B. (2007): Wurzelcharakteristika und Wasserverbrauch unterschiedlicher Fruchtarten als Zwischenfrucht für die Sommer-, Herbst- und Winterbegrünung im semiariden Produktionsraum, Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien, Österreich
- KELLER, R.; HANUS, H.; HEYLAND, K. (1997): Handbuch des Pflanzenbaues I – Grundlagen der landwirtschaftlichen Pflanzenproduktion, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart

- KELLER, R.; HANUS, H.; HEYLAND, K. (1999): Handbuch des Pflanzenbaus III – Knollen- und Wurzelfrüchte, Körner- und Futterleguminosen, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart
- LAGB (2008): Landesamt für Geologie und Bergwesen; Bodendaten Sachsen-Anhalt, Anhang II, Teil 6
- LBEG (2008): Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Bodenübersichtskarte von Niedersachsen, 1:50000 (Kartenmaterial, Legenden und Bodendaten können nicht digital mitgeliefert werden)
- LEHRKE, U. (2008): Zwischenfrüchte auf dem Prüfstand, Land & Forst, Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Nr. 25, 26.Juni 2008
- LÖSCH, R. (2001): Wasserhaushalt der Pflanzen, 1. Auflage, Quelle & Meyer Verlag GmbH & Co., Wiebelsheim
- LÜTKE ENTRUP, N. (2001): Zwischenfrüchte im umweltgerechten Pflanzenbau, AID, Bonn
- LÜTKE ENTRUP, N.; LÜTKE ENTRUP, E.; RENIUS, W. (1992): Zwischenfruchtanbau zur Futtergewinnung und Gründüngung – Ein Baustein zur Bodenfruchtbarkeit und zum Umweltschutz, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup
- OEHMICHEN, J. (1986): Pflanzenproduktion, Band 2: Produktionstechnik, Verlag Paul Parey, Berlin und Hamburg
- PROBST, G.; PROBST, M. (1982): Praktische Gründüngung für Landwirtschaft, Gartenbau und Sonderkulturen, Medizin für den Boden, Volkswirtschaftlicher Verlag, München
- RÖMER, T.; SCHEIBE, A. (1953): Ackerbaulehre, Verlag Paul Parey, Berlin
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1979): Lehrbuch der Bodenkunde, 10. Auflage, Ferdinand Enke Verlag
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde, 15. Auflage, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg
- SCHRÖDER, D. (1972): Bodenkunde in Stichwörtern, 2. Auflage, Verlag Ferdinand Hirt, Kiel
- SCHRÖDER, R.; LEHNERT, J. (2008): Zwischenfrüchte (ver)brauchen auch Wasser, Deutsche Zuckerrübenzeitung, dzz Nr. 4,
- SCHULZE-WEXT, J. (2008): Landwirt in Bergzow (Jerichower Land), Sachsen-Anhalt, Gespräch vom 05.09.2008
- SNEY D, J. (1995): Alternative Nutzpflanzen, Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co., Stuttgart
- STATISTISCHES LANDESAMT NIEDERSACHSEN (2007): Agrarstrukturerhebung 2007, Daten im Anhang

THOME, U. (2007): Skript zur Lehrveranstaltung Pflanzenbau II, Thema Raps, Wintersemester 2007/2008, Neubrandenburg

THOME, U. (2005): Skript zur Lehrveranstaltung Grundlagen des Pflanzenbaues, Wintersemester 205/2006, Neubrandenburg

VALORAS, N.; OSBORNE, J. F.; LETEY, J. (1974): Wetting agents for erosion control on burned watersheds, Calif. Agric.

Internetquellen

AGRARHEUTE (2008): Zwischenfruchtfläche für Futterbau und Biogas nutzen, Artikel vom 12.07.2008, In: <http://www.agrarheute.com/?redid=217245> (Stand 15.09.2008)

ARBEITSGEMEINSCHAFT NORDDEUTSCHER LANDWIRTSCHAFTSKAMMERN (2008): Zwischenfrüchte für Futternutzung und Gründüngung – Hinweis zur Artenwahl, Nutzungsmöglichkeiten und Anbauverfahren, In: http://www.lwksh.de/cms/fileadmin/user_upload/Downloads/Pflanzenbau/Zwischenfruechte_fuer_Futternutzung_2006.pdf (Stand 02.06.2008)

BAILLY, F. (2008): Wasser im Boden – Wasserverfügbarkeit, Kassel, In: <http://www.f-by.de/boden-hauptprogramm/lehrprogramme/wasser-flash/bodenwasserdemo/bodenwasser/verfuegbarkeit.htm> (Stand 30.07.2008)

BERENDONK, C. (2005): Zwischenfrüchte für die Gründüngung, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, In: www.landwirtschaftskammer.de/fachangebot/ackerbau/zwischenfruechte/zf-gruenduengung.htm (Stand 27.07.2008)

BERENDONK, C. (2007): Zwischenfrüchte für Futternutzung und Biogaserzeugung, Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen, In: <http://www.lwk.nrw.de/riswick/pdf/zwischenfruchtanbau-futternutzung-2007.pdf> (Stand 27.07.2008)

BODENMAGAZIN (2008): Bodentyp – Pararendzina, In: <http://www.ahabc.de/klassen/pararendzina.html> (Stand 23.08.2008)

CONVIS (2008): Zwischenfrüchte – Ihr Anbau lohnt sich, In: www.convis.lu/pdf_neues/20070725_BER_Zwischenfruchtanbau.PDF (Stand 29.07.2008)

CROSS COMPLIANCE (2007): Infobroschüre für die Empfänger von Direktzahlungen zur Einhaltung der anderweitigen Verpflichtungen, In: http://www.umwelt.nrw.de/landwirtschaft/pdf/cc_infobroschuere_64s_nrw.pdf (Stand 09.06.2008)

- DWD (2008 a): Klimareport 2007, Offenbach, In:
http://www.dwd.de/bvbw/generator/Sites/DWDWWW/Content/Oeffentlichkeit/KU/KU2/KU22/klimastatusbericht/klimareport/klimareport_2007,templateId=raw,property=publicationFile.pdf/klimareport_2007.pdf (Stand 09.09.2008)
- GERMANWATCH (2007): Auswirkung des Klimawandels auf Deutschland, mit Exkurs NRW, In: <http://www.germanwatch.org/klima/klideu07.pdf> (Stand 01.09.2007)
- GÖBEL, P. (2008): Enzyklopädieartikel Magdeburger Börde, MSN Encarta, In:
http://de.encarta.msn.com/encyclopedia_1201508840/Magdeburger_B%C3%B6rde.html (Stand 22.08.2008)
- GYMNASIUM OSNABRÜCK (2008): Boden hat verschiedene Eigenschaften – Humus, In:
<http://gidw-os.nibis.de/Bodenweb/eigensch/humus.htm#Kopf> (Stand 15.07.2008)
- HARTMANN; RÖSSL; FORSTER (2008): (a) Alexandrinerklee – Wachstumsbedingungen und Eigenschaften, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, In:
www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09663/alexandrinerklee.pdf (Stand 01.08.2008)
(b) Perserklee – Wachstumsbedingungen und Eigenschaften, Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, In: <http://www.lfl.bayern.de/ipz/gruenland/09663/perserklee.pdf> (Stand 01.08.2008)
- HIRSCHBERGER, P. (2008): Enzyklopädieartikel Schwarzerde, MSN Encarta, In:
http://de.encarta.msn.com/encyclopedia_721551564/Schwarzerde.html (Stand 21.08.2008)
- HOFHANSEL, A. (2007): Auswirkungen des Klimawandels auf die Bewirtschaftung von Sandböden in Mecklenburg-Vorpommern, Landesforschungsanstalt für Landwirtschaft und Fischerei M-V, In: http://www.agrarnet-mv.de/var/plain_site/storage/original/application/0c982f14f7df9da48ac01b652817d87a.pdf (Stand 11.06.2008)
- ISIP – INFORMATIONSSYSTEM INTEGRIERTE PFLANZENPRODUKTION (2008): Grundlegendes zum Zwischenfruchtanbau – Sinn und Zweck des Zwischenfruchtanbaus, In: <http://www.isip2.de/coremedia/generator/isip/Infothek/Gruenland-Futterbau/Zwischenfruechte/Grundlegendes/Grundlegendes.html> (Stand 24.07.2008)
- JUNGE UNION (2008): Positionspapier – Landwirtschaft der Jungen-Union Lüchow-Dannenberg, In: http://ju-luechow-danneberg.generation-ju.de/media/89/info/pages/attachments/109190_AG_Poslandwirtschaft.pdf (Stand 15.09.2008)
- KOLBE, H.; SCHUSTER, M.; HÄNSEL, M.; GRÜNBECK, A.; SCHLIESSER, I.; KÖHLER, A.; KARALUS, W.; KRELLIG, B.; POMMER, R.; ARP, B. (2004): Zwischenfrüchte im ökologischen Landbau, Fachmaterial Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, In: http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/1284_1.pdf (Stand 02.04.2008)

- KOPPE, W. (2004): (b) Infoblatt Braunerde – Bodenprofil, Entstehung und Verbreitung der Braunerde, Geografie Infothek, Klett Verlag, Leipzig, In: http://www.klett.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&miniinfothek=&node=Bodentypen&article=Infoblatt+Braunerde (Stand 03.08.2008)
- (c) Infoblatt Gleye – Bodenprofil, Entstehung und Verbreitung der Gleyböden, Geografie Infothek, Klett Verlag, Leipzig, In: https://lernportal.net/sixcms/list.php?page=geo_infothek&miniinfothek=&node=Bodentypen&article=Infoblatt+Gleye (Stand 03.08.2008)
- KREUTZIGER, Y. (2006): Rückkopplungseffekte verschieden diverser Grünlandökosysteme auf die Komponenten des Bodenwasserhaushalts an einem Auenstandort der Saale, Dissertation, Universität Jena, In: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=982774559&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=982774559.pdf (Stand 05.09.2008)
- KÜPPER, K.; SCHMIDT, W.; REXROTH, E. REINHARDT, W. (2008): Sommerzwischenfrüchte Ölrettich, Senf und Phacelia – Managementunterlage, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freistaat Sachsen, In: http://www.smul.sachsen.de/lfl/publikationen/download/70_1.pdf (Stand 27.07.2008)
- LAND BRANDENBURG (2003): Pararendzina – Steckbriefe Brandenburger Böden, Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg, In: http://www.brandenburg.de/cms/media.php/2322/a_sb_2_2.pdf (Stand 30.07.2008)
- LANDESFORSCHUNGSANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT UND FISCHEREI MECKLENBURG-VORPOMMERN (2001): Zwischenfruchtanbau – für den Bodenschutz. In: <http://lfa.info-agrarportal.de/index.php?/content/view/full/953> (Stand 20.07.2008)
- LFL (2008): (a) Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Böden und ihre Nutzung, Pararendzina aus Löss, In: [http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/10267/?auswahl=gebiet&gebiet\[\]=6](http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/10267/?auswahl=gebiet&gebiet[]=6) (Stand 23.08.2008)
- (b) Böden und ihre Nutzung, Vega aus sandig-lehmigen Talsedimenten, In: [http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/10648/?auswahl=gebiet&gebiet\[\]=11](http://www.lfl.bayern.de/iab/boden/10648/?auswahl=gebiet&gebiet[]=11) (Stand 29.08.2008)
- NEFF, R. (2008): Zwischenfruchtanbau, In: <http://www.gartenbauberatung.de/llhessen/landwirtschaft/pflanzenbau/ratgeber2007/zwischenfruchtanbau.pdf> (Stand 29.08.2008)
- PFEIFFER, E.-M. (2008): Basiswissen Boden, Aufbau - Funktion – Prozesse, Institut für Bodenkunde, Universität Hamburg, In: http://www.geowiss.uni-hamburg.de/i-boden/lv/lvss08/15801/basiswissen_boden_06_boeden_aus_loess.pdf (Stand 15.09.2008)
- RIECKMANN, C.; MÖBIUS, N. (2008): Nachhaltiger Ackerbau mit Zwischenfrüchten, Landwirtschaftskammer Hannover, In: www.lwk-niedersachsen.de/download.cfm/file/178,acf389~pdf.html (Stand 29.07.2008)

- SEIDEL, S. (2003): Geografische Infothek – Bodentypen, Verlag Klett, In:
http://www.klett.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&article=Infoblatt+Bodentypen&node=Bodentypen (Stand 20.07.2008)
- STATISTISCHES LANDESAMT SACHSEN-ANHALT (2007): Daten & Fakten, Land- und Fortwirtschaft, Fischerei, In: http://www.statistik.sachsen-anhalt.de/Internet/Home/Daten_und_Fakten/4/41/index.html (Stand 20.08.2008)
- UNI MÜNSTER (2008): (f) Hypersoil – Pseudogley, In:
<http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/07.htm> (Stand 03.08.2008)
(g) Hypersoil – Schwarzerde, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/03.htm> (Stand 21.08.2008)
(h) Hypersoil – Gley, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/06.htm> (Stand 18.08.2008)
(i) Hypersoil – Podsol, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/08.htm> (Stand 18.08.2008)
- VOSSLER, W. (1999): Landwirtschaft in Landkreis Hildesheim, In:
<http://www.nibis.de/nli1/rechtsx/nlpb/pdf/Regionen/Kapitel3.pdf> (Stand: 27.07.2008)
- WIKIPEDIA (2008): (b)Suche nach Hildesheim, In: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hildesheim> (Stand 15.07.2007)
(c) Suche nach Magdeburger Börde, In:
http://de.wikipedia.org/wiki/Magdeburger_B%C3%B6rde (Stand 21.08.2008)
(d) Suche nach Lüchow-Dannenberg, In:
[http://de.wikipedia.org/wiki/Dannenberg_\(Elbe\)](http://de.wikipedia.org/wiki/Dannenberg_(Elbe)) (Stand 05.09.2008)
- WISSEN.DE (2008): Reisen – Magdeburger Börde, In:
<http://www.wissen.de/wde/generator/wissen/ressorts/reisen/deutschland/index0.page=1183376.html> (Stand 21.08.2008)

Abbildungsquellen

- BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT (2008): Fachinformation – Kooperation mit Landwirten, In:
http://www.lfu.bayern.de/wasser/fachinformationen/trinkwasserschutzgebiete/kooperation_mit_landwirten/index.htm (Stand: 29.07.2008)
- BGR (2008): Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hildesheimer Schwarzerde, In:
http://www.bgr.bund.de/nn_322990/DE/Themen/GG_Palaeontol/Sammlung/Objekt_Monat/1105_schwarzerde.html (Stand 01.09.2008)
- BIOLAND (2007): Hof Jeebel/Altmark, Biogartenversand, In:
http://biogartenversand.de/advanced_search_result.php?keywords=inkarnatkllee&search_in_description=1 (Stand 01.08.2008)
- BRITISH WILD FLOWERS (2008): Abbildung von Phacelia tanacetifolia, 17-6-2005 Trafford, John Somerville, In: <http://www.british-wild-flowers.co.uk/P-Flowers/Phacelia.htm> (Stand 29.07.2008)

- FERIENWOHNUNGEN, 2008: Sachsen-Anhalt Karte, In:
<http://www.ferienwohnungen.de/cgi-bin/map.cgi?cid=369> (21.08.2008)
- HOG BIRDA (2008): Homepage – Landwirtschaftlicher Anbau, In:
<http://www.birda.de/landwirtschaft-IV.html> (Stand 30.07.2008)
- KOPPE (2004): (a) Entstehung von Löss und seinen Eigenschaften, Geografie Infothek, Klett Verlag, Leipzig, In:
http://www.klett.de/sixcms/list.php?page=geo_infothek&article=Infoblatt+L%F6ss
(Stand 03.08.2008)
- LAFENTHALER, E. (2008): Gastein im Bild, In:
<http://gastein-im-bild.info/plants/xptrifr1.jpg> (Stand 30.07.2008)
- LAGB (2008): Bodenkundliche Karten von Sachsen-Anhalt, Blatt Oschersleben, L 3932, In:
<http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?id=23368#> (Stand 25.08.2008)
- LANDESREGIERUNG SACHSEN-ANHALT (2008): Das Landeswappen – Anhalts Bär und preußischer Adler, In: <http://www.sachsen-anhalt.de/LPSA/index.php?id=24812>
(Stand 20.08.2008)
- LBEG (2008): (a) Landesamt für Bergbau, Energie und Geologie, Kartenserver, In:
<http://memas01.lbeg.de/lucidamap/index.asp?THEMEGROUP=BODEN> (Stand 05.08.2008)
(b) Nutzbare Feldkapazität des effektiven Wurzelraums, In:
http://www.lbeg.niedersachsen.de/master/C42380988_N42375418_L20_D0_I31802357.html (Stand 02.09.2008)
(c) Bodenartendiagramm der Bodenartengruppen des Feinbodens nach KA4, übermittelt durch die LBEG, CD
- LÜCHOW-DANNENBERG (2008): Stadt- & Landplan, In:
http://www.luechow-dannenberg.de/index.htm?baum_id=4810 (Stand 05.09.2008)
- NATURKUNDEMUSEUM KASSEL (2008): Bodenprofile im Museum, Stauwasserböden – Pseudogley, In:
<http://www.naturkundemuseumkassel.de/museum/wissenswert/bodenkunde/bodenprofile/pseudogley.htm> (Stand 06.08.2008)
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG (2008): (a) Internet-Portal, Wappen und Flaggen, In:
http://www.niedersachsen.de/master/C32586_N15030_L20_D0_I198.html (Stand 23.07.2008)
(b) Niedersachsen Karte, In:
http://www.niedersachsen.de/master/C1438432_N15020_L20_D0_I198.html (Stand 23.07.2008)
- ÖKOLANDBAU (2008): Ökolandbau.de, Das Informationsportal, In:
http://forschung.oekolandbau.de/archiv/template_lang.php?id=529 (Stand 01.08.2008)

ÖKOLANDBAU NRW (2004): Feldgemüse, Landwirtschaftskammer Nordrhein Westfalen, In: <http://www.oekolandbau.nrw.de/umstellung/gartenbau/feldgemuese/index.html> (Stand 01.08.2008)

STATISTISCHES LANDESAMT NIEDERSACHSEN (2007): Agrarstrukturerhebung 2007, Daten im Anhang

UNI MÜNSTER (2008): (a) Hypersoil – Bodenwasser, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/04.htm> (Stand 20.07.2008);
(b) Hypersoil – Bodenhorizonte und Bodenprofil, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/06.htm> (Stand 20.07.2008)
(c) Hypersoil – Wasserspannung und Bodenfeuchtgrad, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/03/04.htm> (Stand 20.07.2008)
(d) Hypersoil – Braunerde, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/04.htm> (20.07.2008)
(e) Hypersoil – Parabraunerde, In: <http://hypersoil.uni-muenster.de/0/04/07/05.htm> (Stand 25.07.2007)

WIKIDEDIA (2008 a): Suche nach Winterrübsen, In: <http://de.wikipedia.org/wiki/R%C3%BCbsen> (Stand 02.08.2008)

WILD, A. (1995): Umweltorientierte Bodenkunde – Eine Einführung, Spektrum Akademischer Verlag GmbH Heidelberg, Berlin und Oxford

Anhang I

Klimadiagrammverzeichnis

Klimadiagramme 1: Region Hildesheim 2000 -2008.....	145
Klimadiagramme 2: Region Magdeburg 2000 - 2008.....	147
Klimadiagramme 3: Region Dannenberg 2000 - 2008	149

Abbildungs-Anhang-Verzeichnis

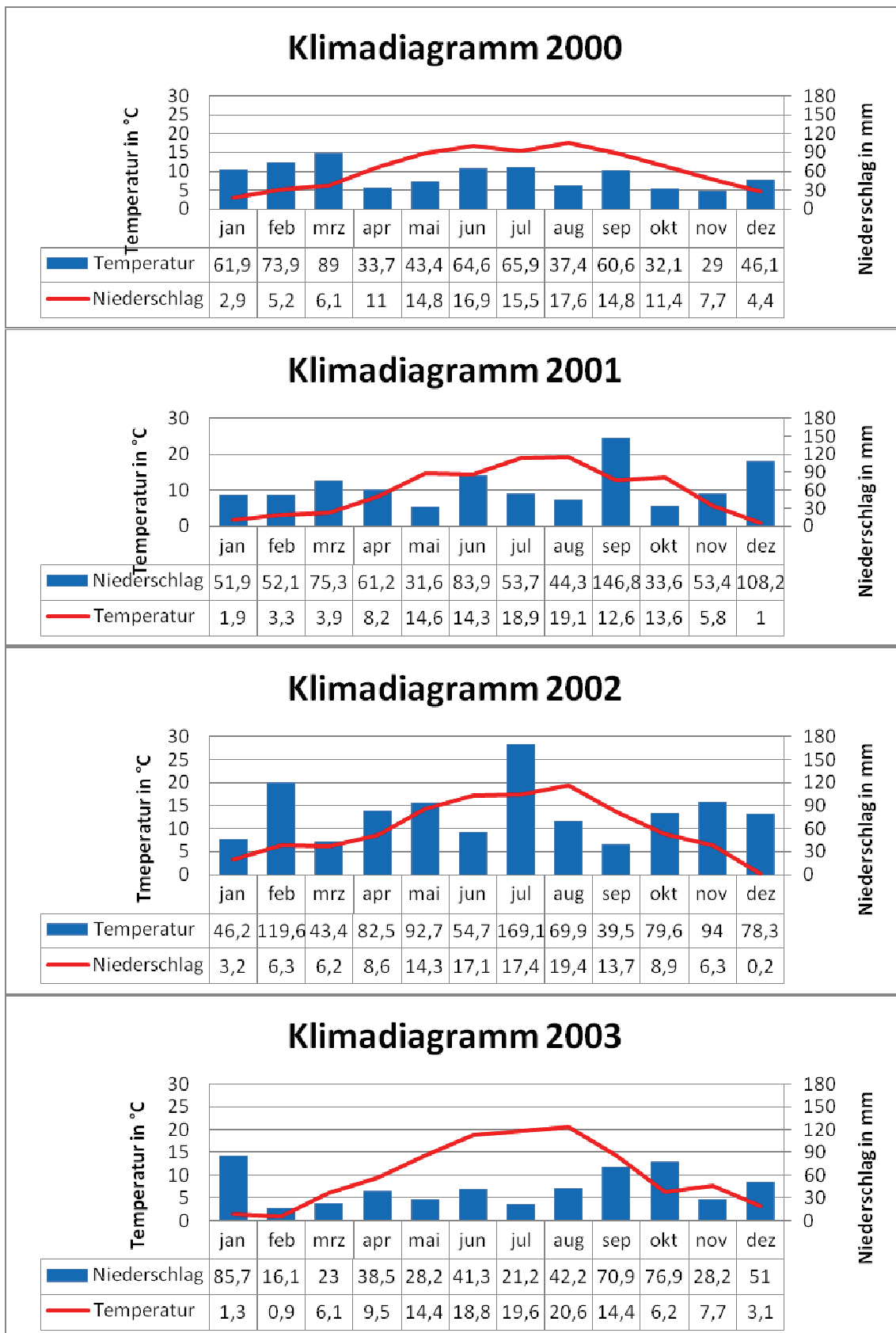
Abbildung-Anhang 1: Niederschlagsverteilung für die Region Hildesheim (2003/2004)	155
Abbildung-Anhang 2: Niederschlagsverteilung für die Region Hildesheim (2007/2008)	161
Abbildung-Anhang 3: Niederschlagsverteilung für die Region Magdeburg (2003/2004)	165
Abbildung-Anhang 4: Niederschlagsverteilung für die Region Magdeburg (2007/2008)	169
Abbildung-Anhang 5: Niederschlagsverteilung für die Region Dannenberg (2003/2004) ...	173
Abbildung-Anhang 6: Niederschlagsverteilung für die Region Dannenberg (2007/2008) ...	178

Tabellen-Anhang-Verzeichnis

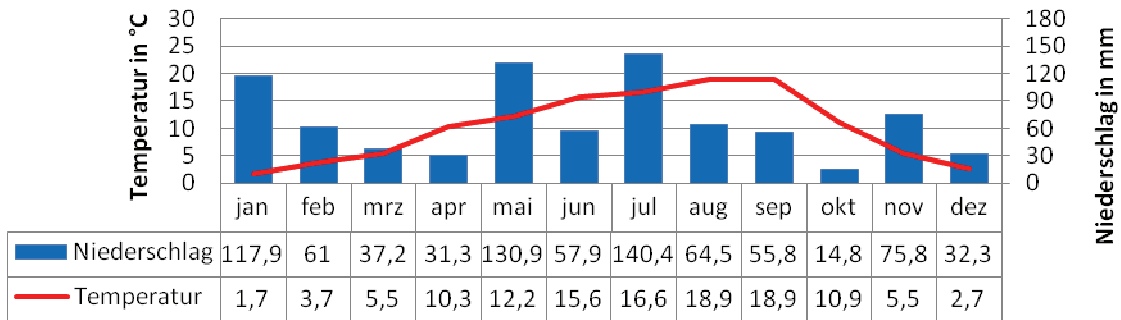
Tabelle-Anhang 1: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Hildesheim (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle 152	152
Tabelle-Anhang 2: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Hildesheim (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache..... 153	153
Tabelle-Anhang 3: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Magdeburg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle..... 156	156
Tabelle-Anhang 4: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Hildesheim (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache..... 158	158
Tabelle-Anhang 5: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Magdeburg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle..... 162	162
Tabelle-Anhang 6: : Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Magdeburg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache..... 163	163
Tabelle-Anhang 7: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Magdeburg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle..... 166	166
Tabelle-Anhang 8: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Magdeburg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache..... 167	167
Tabelle-Anhang 9: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Dannenberg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle..... 170	170

Tabelle-Anhang 10: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Dannenberg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache.....	171
Tabelle-Anhang 11: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Dannenberg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklees.....	174
Tabelle-Anhang 12: Bodenwasserhaushaltrechnung im Bereich Dannenberg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache.....	176

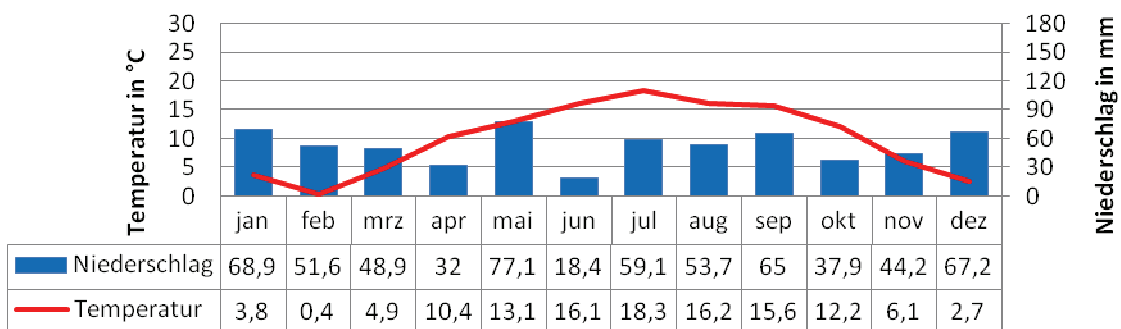
Klimadiagramme 1: Region Hildesheim 2000 -2008



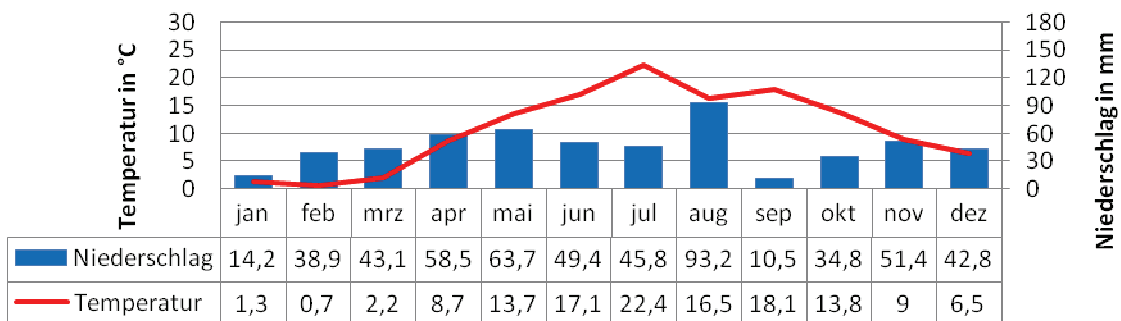
Klimadiagramm 2004



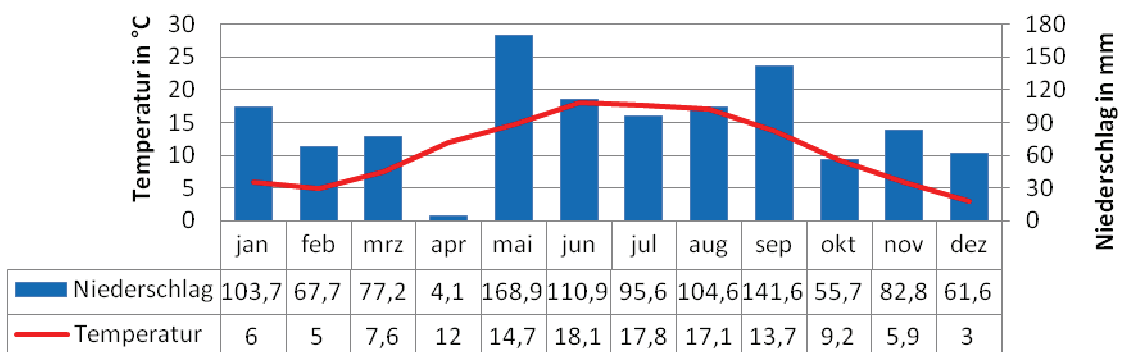
Klimadiagramm 2005

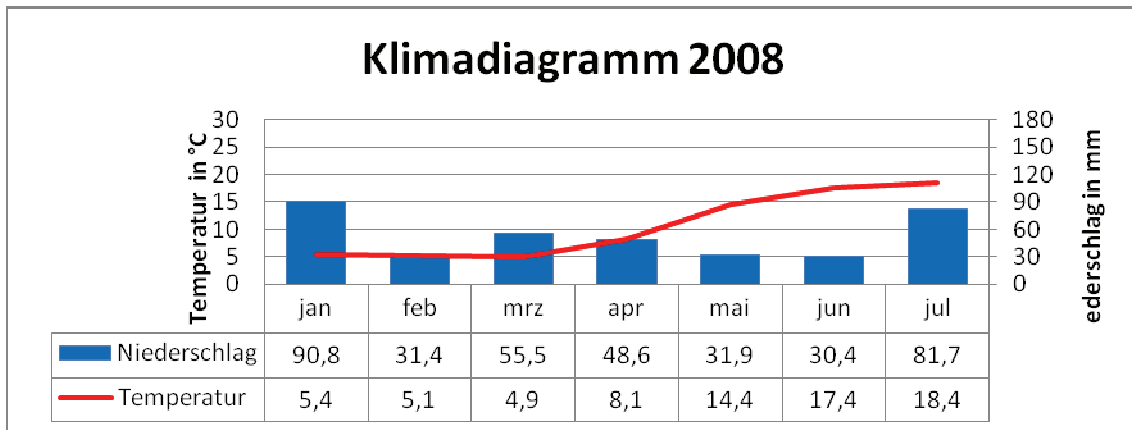


Klimadiagramm 2006

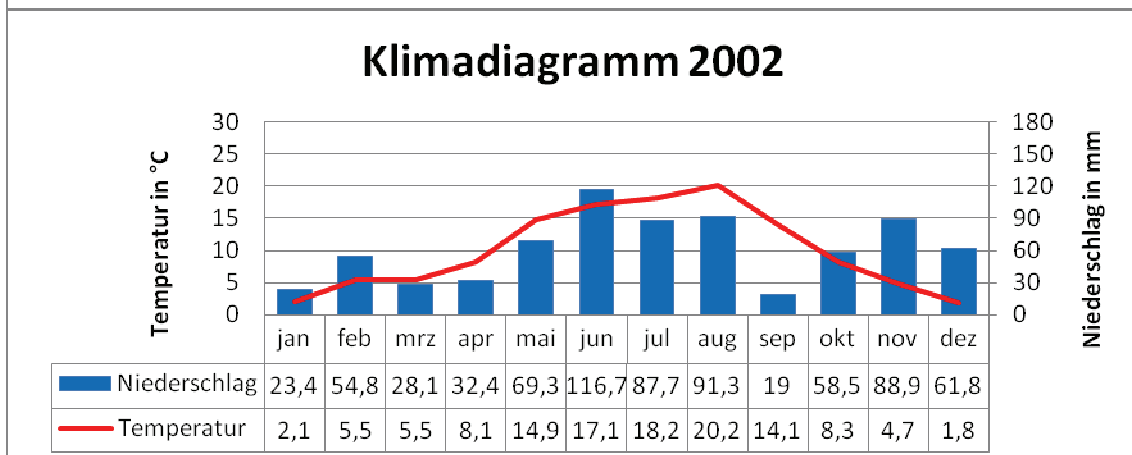
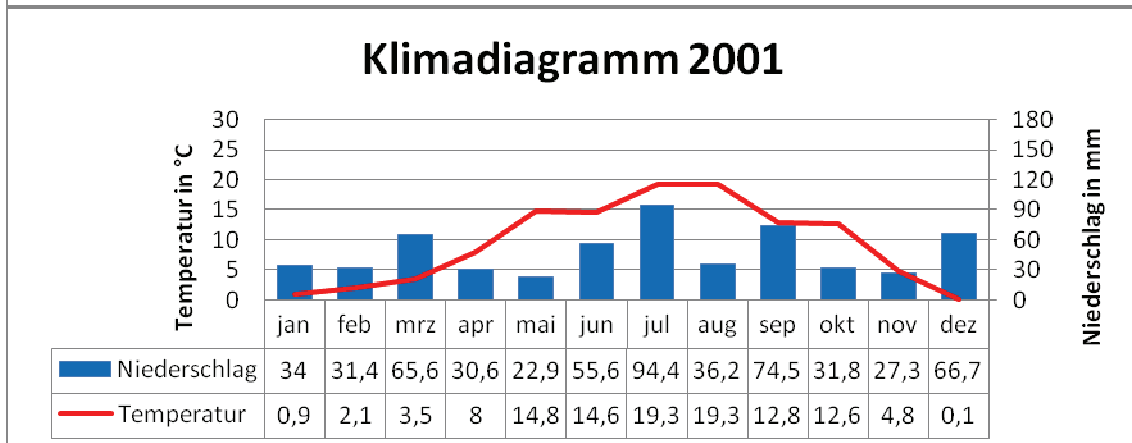
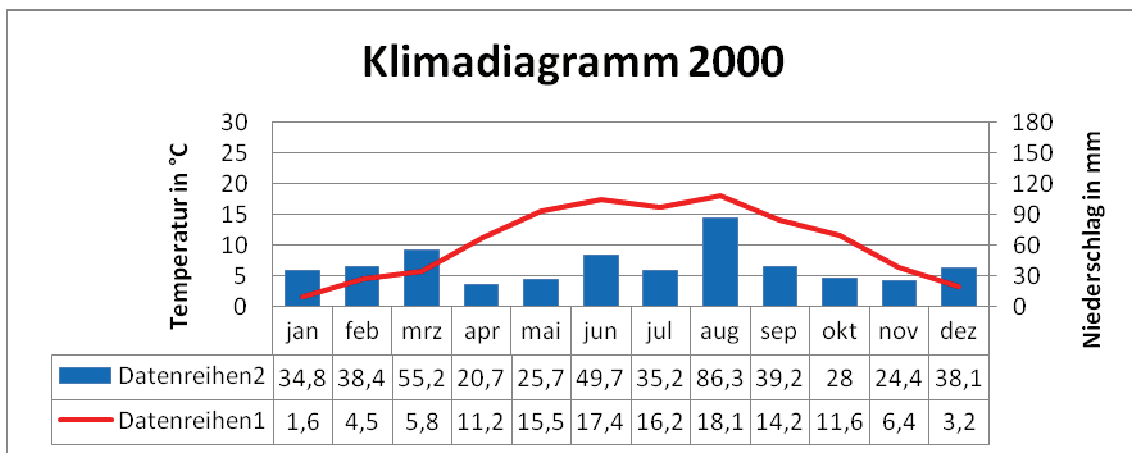


Klimadiagramm 2007

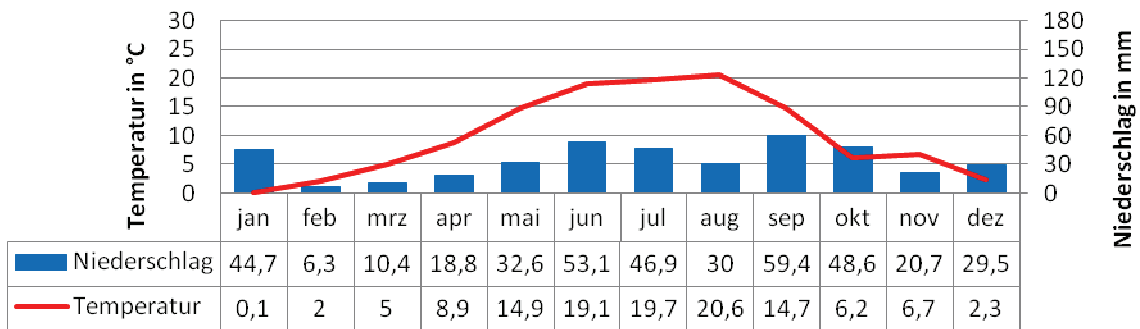




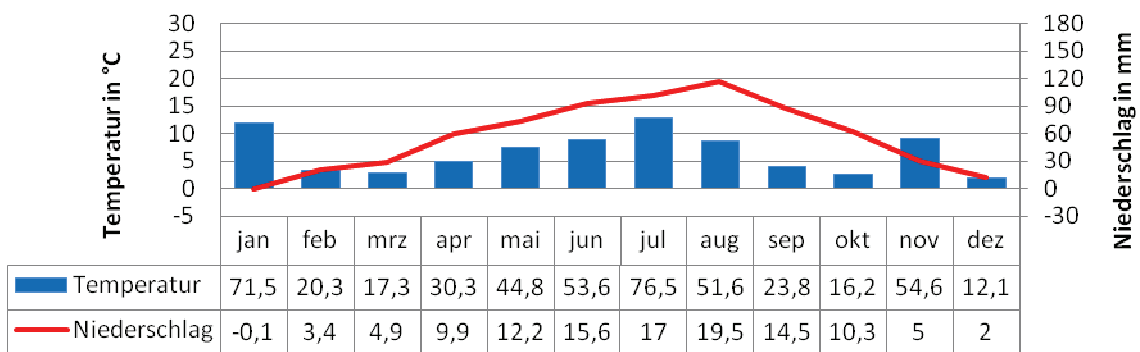
Klimadiagramme 2: Region Magdeburg 2000 - 2008



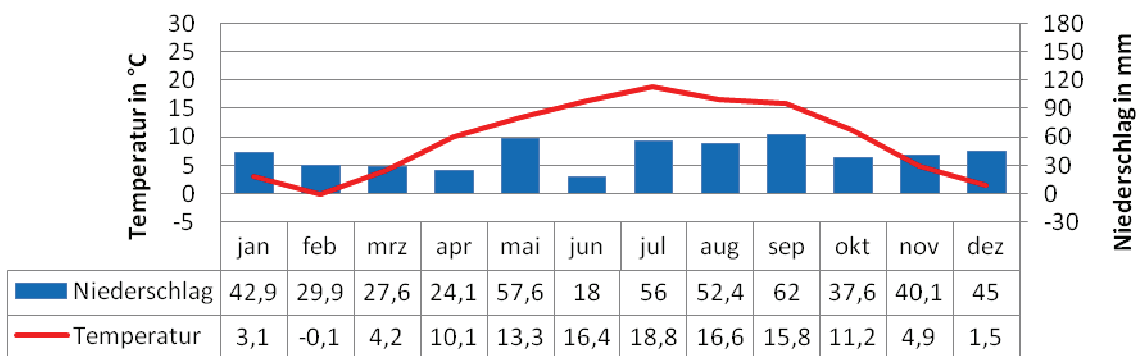
Klimadiagramm 2003



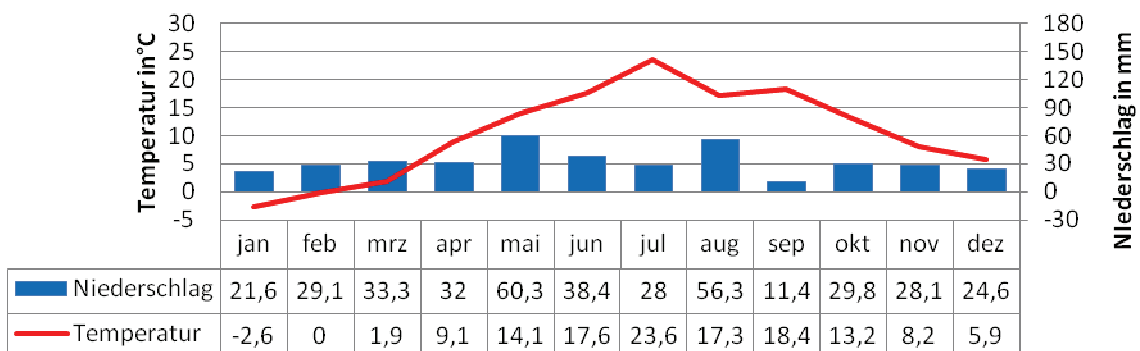
Klimadiagramm 2004

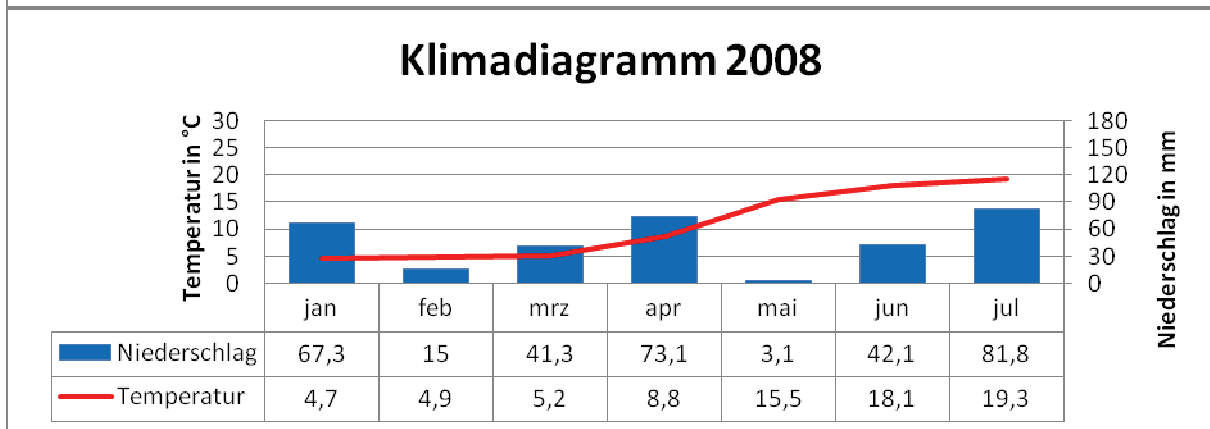
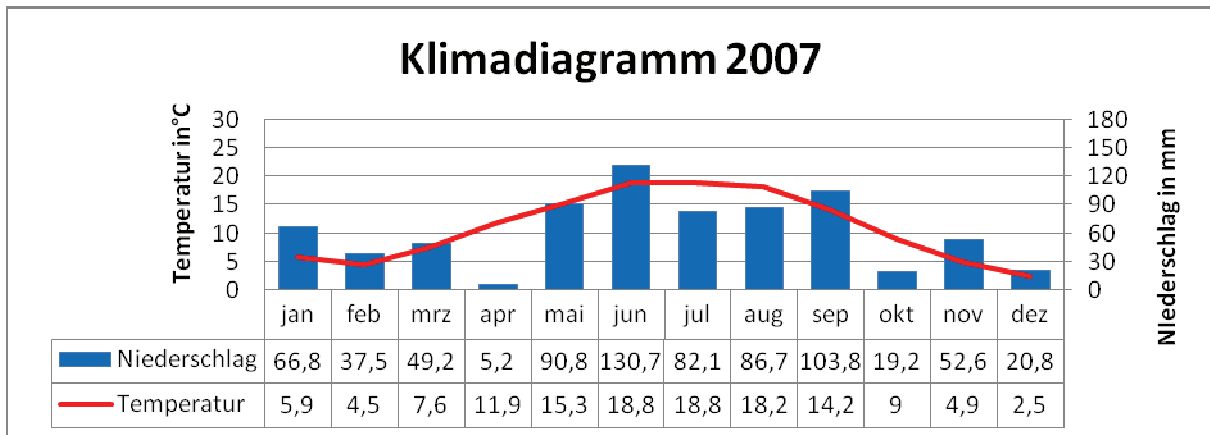


Klimadiagramm 2005

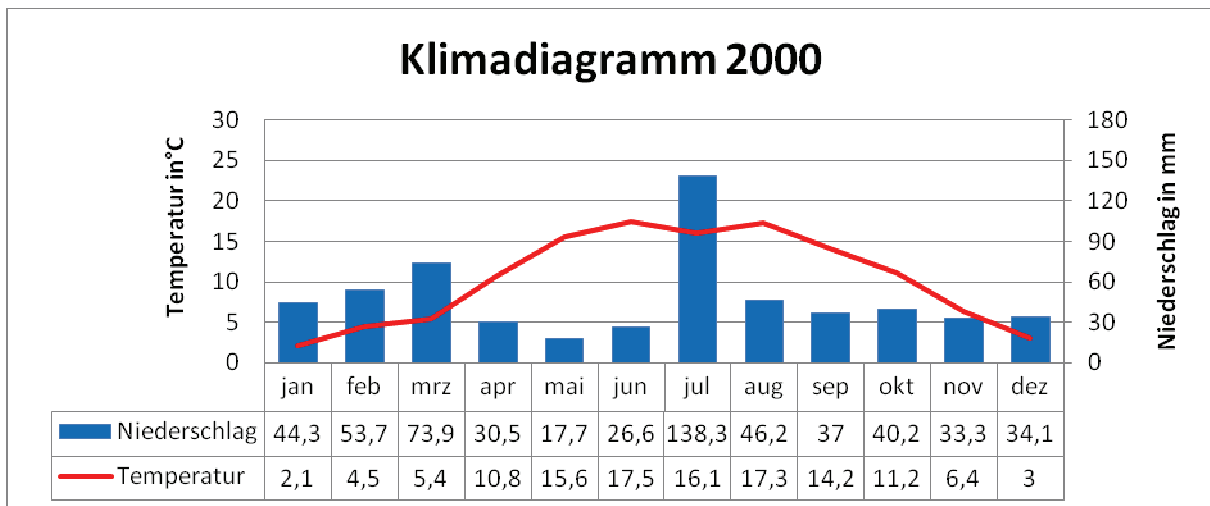


Klimadiagramm 2006

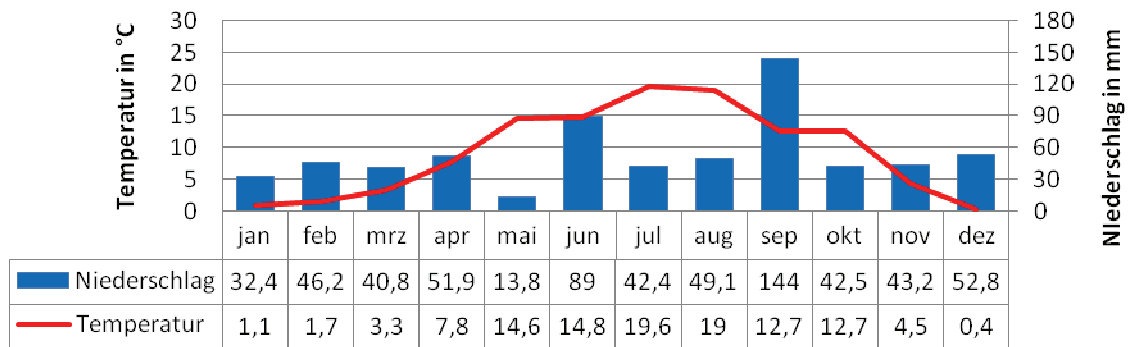




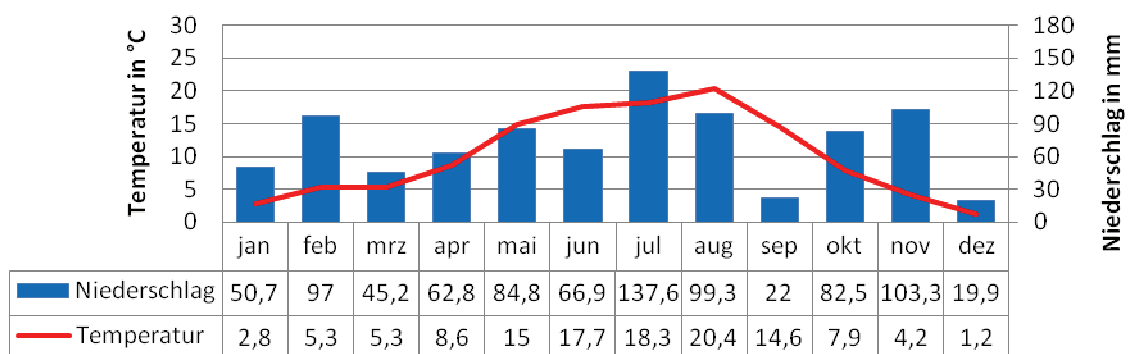
Klimadiagramme 3: Region Dannenberg 2000 - 2008



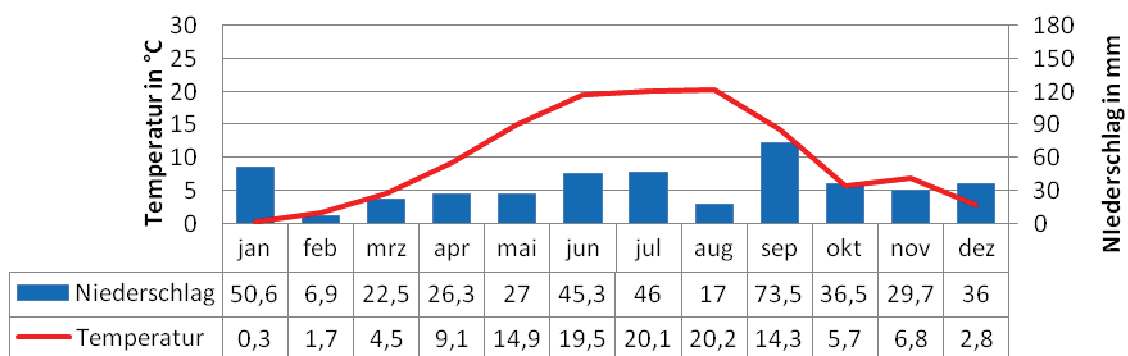
Klimadiagramm 2001



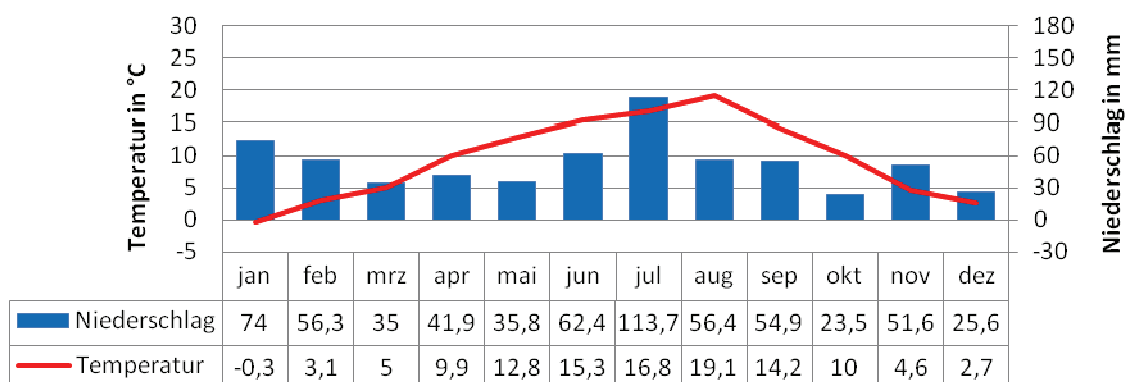
Klimadiagramm 2002



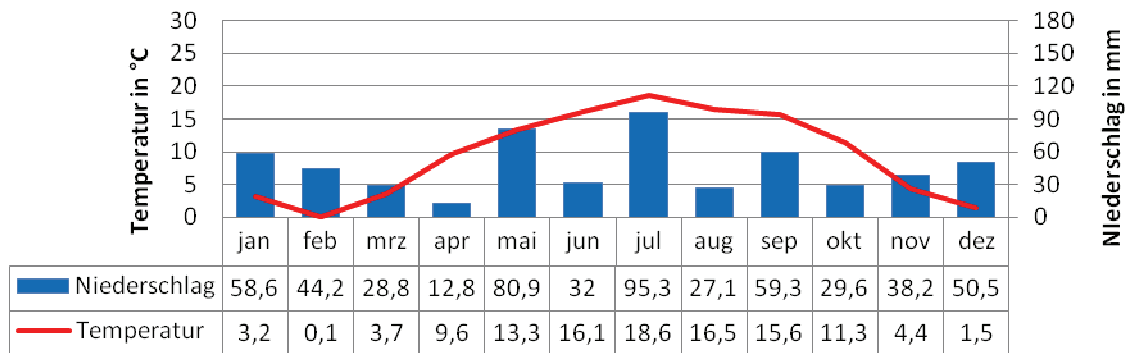
Klimadiagramm 2003



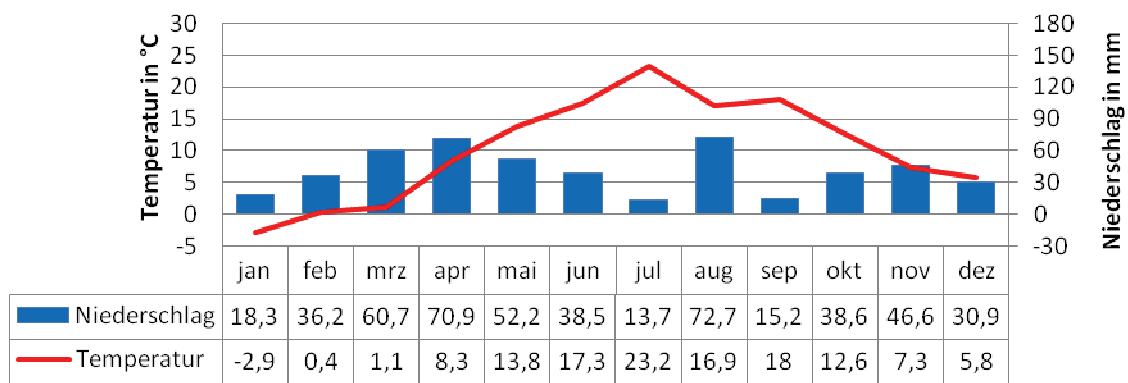
Klimadiagramm 2004



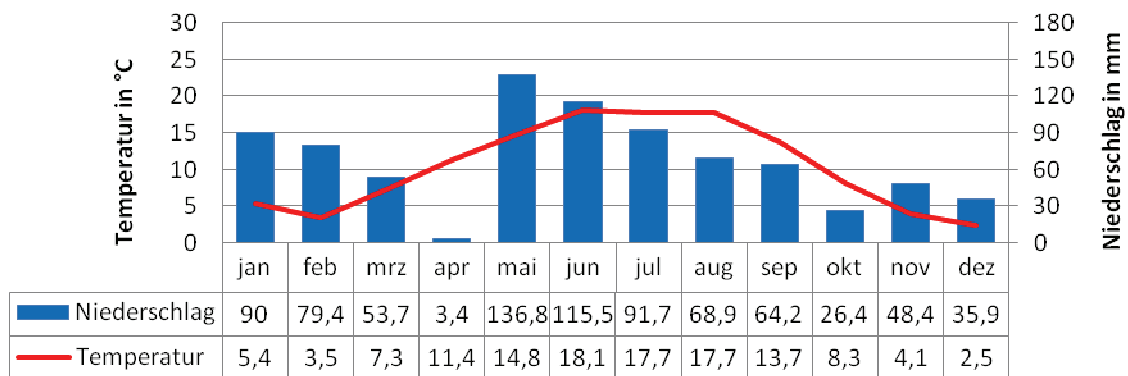
Klimadiagramm 2005



Klimadiagramm 2006



Klimadiagramm 2007



Klimadiagramm 2008

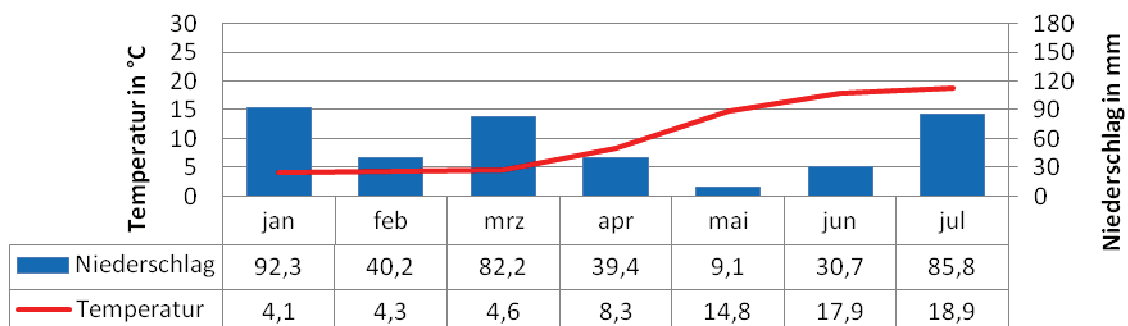


Tabelle-Anhang 1: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Hildesheim (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee

Parabraunerde 2003/2004					
Nutzbare Feldkapazität(95%)					
213,75					
		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2003				213,75
	01.03.-				
Weizen	31.07.2003	152,2	397,8	163,2	-195,05
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-196,87
	02.08.2003	0	0	1,82	-198,69
	03.08.2003	0	0	1,82	-200,51
	04.08.2003	0	0	1,82	-202,33
				
	26.08.2003	0	0	1,82	-223,87
	27.08.2003	0	0	1,82	-225,69
	28.08.2003	8,9	0	1,82	-218,61
	29.08.2003	11,5	0	1,82	-208,93
	30.08.2003	0	0	1,82	-210,75
	31.08.2003	3,3	0	1,82	-209,27
Winter – Klee	01.09.2003	1,7	1,76	1,32	-210,65
	02.09.2003	0	1,76	1,32	-213,73
	03.09.2003	0	1,76	1,32	-216,81
	04.09.2003	0	1,76	1,32	-219,89
	05.09.2003	0	1,76	1,32	-222,97
	06.09.2003	0,2	1,76	1,32	-225,85
	07.09.2003	16,6	1,76	1,32	-212,33
	08.09.2003	2,3	1,76	1,32	-213,11
	09.09.2003	0	1,76	1,32	-216,19
	10.09.2003	36,3	1,76	1,32	-182,97
	11.09.2003	3,5	1,76	1,32	-182,55
	12.09.2003	0	1,76	1,32	-185,63
	13.09.2003	0	1,76	1,32	-188,71
	14.09.2003	0	1,76	1,32	-191,79
	...				
	04.04.2004	0,4	1,76	1,32	-87,03
	05.04.2004	8,2	1,76	1,32	-81,91
	06.04.2004	1,2	1,76	1,32	-83,79
	07.04.2004	5,9	1,76	1,32	-80,97
	08.04.2004	6,5	1,76	1,32	-77,55
	09.04.2004	0,6	1,76	1,32	-80,03
	10.04.2004	0,6	1,76	1,32	-82,51
	11.04.2004	0	1,76	1,32	-85,59
	12.04.2004	0	1,76	1,32	-88,67
	13.04.2004	0	1,76	1,32	-91,75
	14.04.2004	0	1,76	1,32	-94,83
	15.04.2004	0	1,76	1,32	-97,91
Brache	16.04.2004	0	0	1,82	-99,73

Anhang I

17.04.2004	0	0	1,82	-101,55
18.04.2004	0	0	1,82	-103,37
19.04.2004	0	0	1,82	-105,19
20.04.2004	0	0	1,82	-107,01
21.04.2004	0	0	1,82	-108,83
22.04.2004	2,9	0	1,82	-107,75
23.04.2004	5	0	1,82	-104,57
24.04.2004	0	0	1,82	-106,39
25.04.2004	0	0	1,82	-108,21
Zuckerrüben				

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 2: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Hildesheim (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Parabraunerde 2003/2004					
Nutzbare Feldkapazität					
213,75		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2003				213,75
	01.03.-				
Weizen	31.07.2003	152,2	397,8	163,2	-195,05
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-196,87
	02.08.2003	0	0	1,82	-198,69
	03.08.2003	0	0	1,82	-200,51
	04.08.2003	0	0	1,82	-202,33
				
	26.08.2003	0	0	1,82	-223,87
	27.08.2003	0	0	1,82	-225,69
	28.08.2003	8,9	0	1,82	-218,61
	29.08.2003	11,5	0	1,82	-208,93
	30.08.2003	0	0	1,82	-210,75
	31.08.2003	3,3	0	1,82	-209,27
	01.09.2003	1,7	0	1,82	-209,39
	02.09.2003	0	0	1,82	-211,21
	03.09.2003	0	0	1,82	-213,03
	04.09.2003	0	0	1,82	-214,85
	05.09.2003	0	0	1,82	-216,67
	06.09.2003	0,2	0	1,82	-218,29
	07.09.2003	16,6	0	1,82	-203,51
	08.09.2003	2,3	0	1,82	-203,03
				
	09.09.2003	0	0	1,82	-204,85
	10.09.2003	36,3	0	1,82	-170,37
	11.09.2003	3,5	0	1,82	-168,69
	12.09.2003	0	0	1,82	-170,51
	13.09.2003	0	0	1,82	-172,33
	14.09.2003	0	0	1,82	-174,15
	...				

Anhang I

29.01.2004	16,7	0	0,66	16,04
30.01.2004	2,3	0	0,66	17,68
31.01.2004	0,9	0	0,66	17,92
01.02.2004	6,5	0	0,66	23,76
02.02.2004	5,4	0	0,66	28,5
03.02.2004	0,1	0	0,66	27,94
...				
04.04.2004	0,4	0	1,82	51,57
05.04.2004	8,2	0	1,82	57,95
06.04.2004	1,2	0	1,82	57,33
07.04.2004	5,9	0	1,82	61,41
08.04.2004	6,5	0	1,82	66,09
09.04.2004	0,6	0	1,82	64,87
10.04.2004	0,6	0	1,82	63,65
11.04.2004	0	0	1,82	61,83
12.04.2004	0	0	1,82	60,01
13.04.2004	0	0	1,82	58,19
14.04.2004	0	0	1,82	56,37
15.04.2004	0	0	1,82	54,55
16.04.2004	0	0	1,82	52,73
17.04.2004	0	0	1,82	50,91
18.04.2004	0	0	1,82	49,09
19.04.2004	0	0	1,82	47,27
20.04.2004	0	0	1,82	45,45
21.04.2004	0	0	1,82	43,63
22.04.2004	2,9	0	1,82	44,71
23.04.2004	5	0	1,82	47,89
24.04.2004	0	0	1,82	46,07
25.04.2004	0	0	1,82	44,25

Zuckerrüben

Angaben in mm

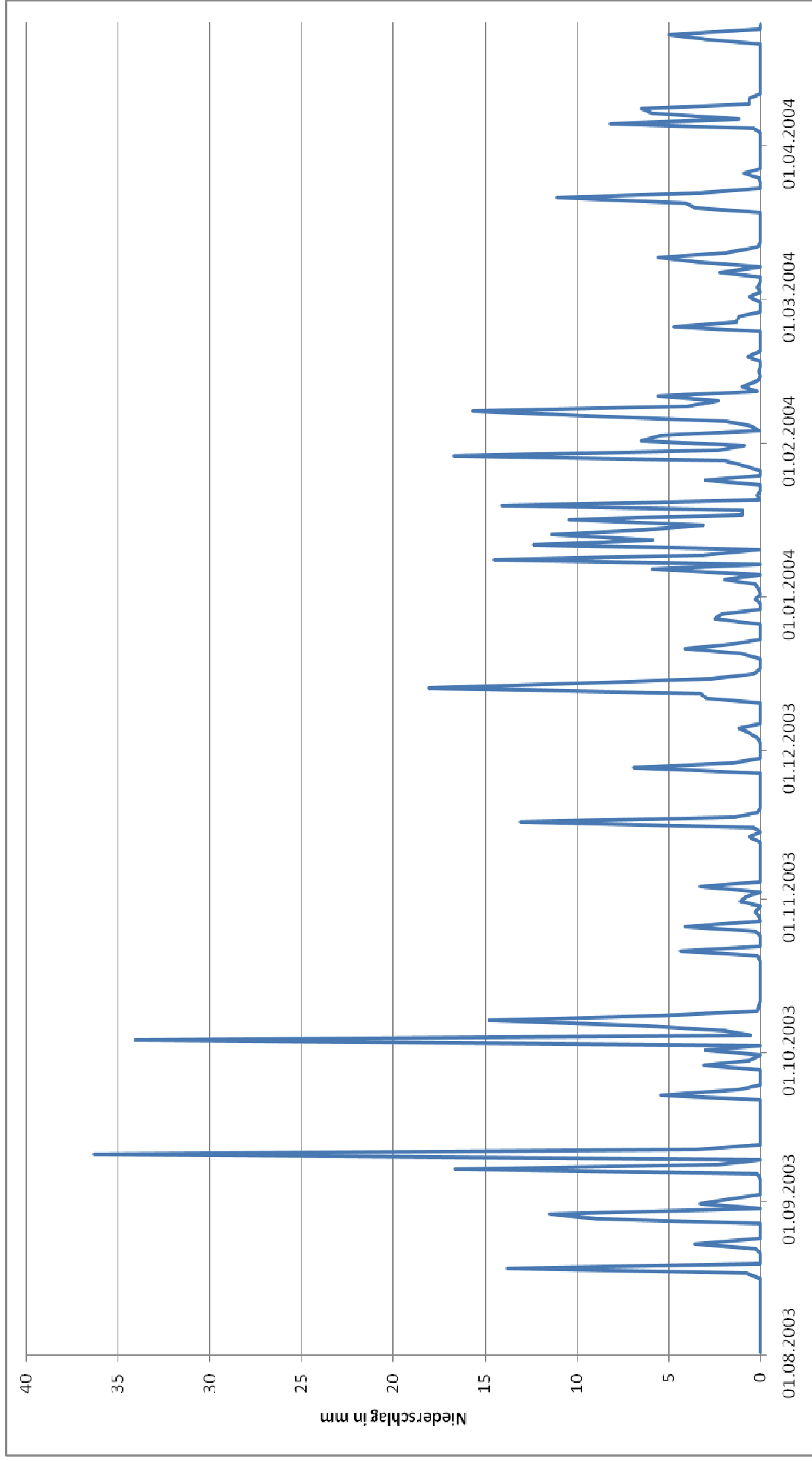


Abbildung-Anhang 1: Niederschlagsverteilung für die Region Hildesheim (2003/2004)

Tabelle-Anhang 3: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Hildesheim (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatklee

Parabraunerde 2007/2008					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
213,75		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				213,75
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	456,7	397,8	163,2	109,45
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	107,63
	02.08.2007	13,3	0	1,82	119,11
	03.08.2007	0	0	1,82	117,29
	04.08.2007	0	0	1,82	115,47
	...				
	26.08.2007	0	0	1,82	161,43
	27.08.2007	0	0	1,82	159,61
	28.08.2007	0	0	1,82	157,79
	29.08.2007	0	0	1,82	155,97
	30.08.2007	0,3	0	1,82	154,45
	31.08.2007	5,1	0	1,82	157,73
Winter – Klee	01.09.2007	0,2	1,76	1,32	154,85
	02.09.2007	18,8	1,76	1,32	170,57
	03.09.2007	0,9	1,76	1,32	168,39
	04.09.2007	0	1,76	1,32	165,31
	05.09.2007	0	1,76	1,32	162,23
	06.09.2007	1,6	1,76	1,32	160,75
	07.09.2007	0,5	1,76	1,32	158,17
	08.09.2007	8,1	1,76	1,32	163,19
	09.09.2007	0,5	1,76	1,32	160,61
	10.09.2007	13,5	1,76	1,32	171,03
	11.09.2007	0	1,76	1,32	167,95
	12.09.2007	0	1,76	1,32	164,87
	13.09.2007	0	1,76	1,32	161,79
	14.09.2007	2,3	1,76	1,32	161,01
	...				
	25.09.2007	0,5	1,76	1,32	145,03
	26.09.2007	1,5	1,76	1,32	143,45
	27.09.2007	13,3	1,76	1,32	153,67
	28.09.2007	37,9	1,76	1,32	188,49
	29.09.2007	24,5	1,76	1,32	209,91
	30.09.2007	0,1	1,76	1,32	206,93
	01.10.2007	4,8	1,76	0,16	209,81
	02.10.2007	0,3	1,76	0,16	208,19
	03.10.2007	14,6	1,76	0,16	220,87
	04.10.2007	0,1	1,76	0,16	219,05
	05.10.2007	0	1,76	0,16	217,13
	06.10.2007	0	1,76	0,16	215,21
	07.10.2007	0	1,76	0,16	213,29

Anhang I

08.10.2007	0	1,76	0,16	211,37
09.10.2007	0	1,76	0,16	209,45
10.10.2007	0	1,76	0,16	207,53
11.10.2007	0,1	1,76	0,16	205,71
12.10.2007	0	1,76	0,16	203,79
13.10.2007	0	1,76	0,16	201,87
14.10.2007	0	1,76	0,16	199,95
15.10.2007	0	1,76	0,16	198,03
16.10.2007	0	1,76	0,16	196,11
17.10.2007	6,5	1,76	0,16	200,69
18.10.2007	5,4	1,76	0,16	204,17
19.10.2007	0	1,76	0,16	202,25
20.10.2007	5,2	1,76	0,16	205,53
21.10.2007	1,4	1,76	0,16	205,01
22.10.2007	0	1,76	0,16	203,09
23.10.2007	0	1,76	0,16	201,17
24.10.2007	0,1	1,76	0,16	199,35
25.10.2007	0	1,76	0,16	197,43
26.10.2007	1,3	1,76	0,16	196,81
27.10.2007	0	1,76	0,16	194,89
28.10.2007	0	1,76	0,16	192,97
29.10.2007	15,1	1,76	0,16	206,15
30.10.2007	0,8	1,76	0,16	205,03
31.10.2007	0	1,76	0,16	203,11
01.11.2007	0,1	1,76	0,16	201,29
02.11.2007	1,6	1,76	0,16	200,97
03.11.2007	1,6	1,76	0,16	200,65
04.11.2007	0	1,76	0,16	198,73
05.11.2007	4,5	1,76	0,16	201,31
06.11.2007	2,6	1,76	0,16	201,99
07.11.2007	3,8	1,76	0,16	203,87
08.11.2007	9,4	1,76	0,16	211,35
09.11.2007	15,9	1,76	0,16	225,33
10.11.2007	14,4	1,76	0,16	237,81
11.11.2007	9,3	1,76	0,16	245,19
12.11.2007	8,2	1,76	0,16	251,47
...				
04.04.2008	0	1,76	1,32	371,77
05.04.2008	11	1,76	1,32	379,69
06.04.2008	2	1,76	1,32	378,61
07.04.2008	2	1,76	1,32	377,53
08.04.2008	0	1,76	1,32	374,45
09.04.2008	0,8	1,76	1,32	372,17
10.04.2008	0,6	1,76	1,32	369,69
11.04.2008	0,6	1,76	1,32	367,21
12.04.2008	0,6	1,76	1,32	364,73
13.04.2008	7	1,76	1,32	368,65

Anhang I

	14.04.2008	0	1,76	1,32	365,57
	15.04.2008	0	1,76	1,32	362,49
Brache	16.04.2008	0	0	1,82	360,67
	17.04.2008	0,7	0	1,82	359,55
	18.04.2008	0	0	1,82	357,73
	19.04.2008	0	0	1,82	355,91
	20.04.2008	0	0	1,82	354,09
	21.04.2008	0	0	1,82	352,27
	22.04.2008	0	0	1,82	350,45
	23.04.2008	0	0	1,82	348,63
	24.04.2008	3,7	0	1,82	350,51
Zuckerrüben	25.04.2008	0,1	0	1,82	348,79

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 4: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Hildesheim (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Parabraunerde 2007/2008					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
213,75		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				213,75
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	456,7	397,8	163,2	109,45
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	107,63
	02.08.2007	13,3	0	1,82	119,11
	03.08.2007	0	0	1,82	117,29
	04.08.2007	0	0	1,82	115,47
	...				
	26.08.2007	0	0	1,82	161,43
	27.08.2007	0	0	1,82	159,61
	28.08.2007	0	0	1,82	157,79
	29.08.2007	0	0	1,82	155,97
	30.08.2007	0,3	0	1,82	154,45
	31.08.2007	5,1	0	1,82	157,73
	01.09.2007	0,2	0	1,82	156,11
	02.09.2007	18,8	0	1,82	173,09
	03.09.2007	0,9	0	1,82	172,17
	04.09.2007	0	0	1,82	170,35
	05.09.2007	0	0	1,82	168,53
	06.09.2007	1,6	0	1,82	168,31
	07.09.2007	0,5	0	1,82	166,99
	08.09.2007	8,1	0	1,82	173,27
	09.09.2007	0,5	0	1,82	171,95
	10.09.2007	13,5	0	1,82	183,63
	11.09.2007	0	0	1,82	181,81
	12.09.2007	0	0	1,82	179,99
	13.09.2007	0	0	1,82	178,17

Anhang I

14.09.2007	2,3	0	1,82	178,65
...				
25.09.2007	0,5	0	1,82	176,53
26.09.2007	1,5	0	1,82	176,21
27.09.2007	13,3	0	1,82	187,69
28.09.2007	37,9	0	1,82	223,77
29.09.2007	24,5	0	1,82	246,45
30.09.2007	0,1	0	1,82	244,73
01.10.2007	4,8	0	0,66	248,87
02.10.2007	0,3	0	0,66	248,51
03.10.2007	14,6	0	0,66	262,45
04.10.2007	0,1	0	0,66	261,89
05.10.2007	0	0	0,66	261,23
06.10.2007	0	0	0,66	260,57
07.10.2007	0	0	0,66	259,91
08.10.2007	0	0	0,66	259,25
09.10.2007	0	0	0,66	258,59
10.10.2007	0	0	0,66	257,93
11.10.2007	0,1	0	0,66	257,37
12.10.2007	0	0	0,66	256,71
13.10.2007	0	0	0,66	256,05
14.10.2007	0	0	0,66	255,39
15.10.2007	0	0	0,66	254,73
16.10.2007	0	0	0,66	254,07
17.10.2007	6,5	0	0,66	259,91
18.10.2007	5,4	0	0,66	264,65
19.10.2007	0	0	0,66	263,99
20.10.2007	5,2	0	0,66	268,53
21.10.2007	1,4	0	0,66	269,27
22.10.2007	0	0	0,66	268,61
23.10.2007	0	0	0,66	267,95
24.10.2007	0,1	0	0,66	267,39
25.10.2007	0	0	0,66	266,73
26.10.2007	1,3	0	0,66	267,37
27.10.2007	0	0	0,66	266,71
28.10.2007	0	0	0,66	266,05
29.10.2007	15,1	0	0,66	280,49
30.10.2007	0,8	0	0,66	280,63
31.10.2007	0	0	0,66	279,97
01.11.2007	0,1	0	0,66	279,41
02.11.2007	1,6	0	0,66	280,35
03.11.2007	1,6	0	0,66	281,29
04.11.2007	0	0	0,66	280,63
05.11.2007	4,5	0	0,66	284,47
06.11.2007	2,6	0	0,66	286,41
07.11.2007	3,8	0	0,66	289,55
08.11.2007	9,4	0	0,66	298,29

Anhang I

09.11.2007	15,9	0	0,66	313,53
10.11.2007	14,4	0	0,66	327,27
11.11.2007	9,3	0	0,66	335,91
12.11.2007	8,2	0	0,66	343,45
....				
04.04.2008	0	0	1,82	510,37
05.04.2008	11	0	1,82	519,55
06.04.2008	2	0	1,82	519,73
07.04.2008	2	0	1,82	519,91
08.04.2008	0	0	1,82	518,09
09.04.2008	0,8	0	1,82	517,07
10.04.2008	0,6	0	1,82	515,85
11.04.2008	0,6	0	1,82	514,63
12.04.2008	0,6	0	1,82	513,41
13.04.2008	7	0	1,82	518,59
14.04.2008	0	0	1,82	516,77
15.04.2008	0	0	1,82	514,95
16.04.2008	0	0	1,82	513,13
17.04.2008	0,7	0	1,82	512,01
18.04.2008	0	0	1,82	510,19
19.04.2008	0	0	1,82	508,37
20.04.2008	0	0	1,82	506,55
21.04.2008	0	0	1,82	504,73
22.04.2008	0	0	1,82	502,91
23.04.2008	0	0	1,82	501,09
24.04.2008	3,7	0	1,82	502,97
25.04.2008	0,1	0	1,82	501,25

Zuckerrüben

Angaben in mm

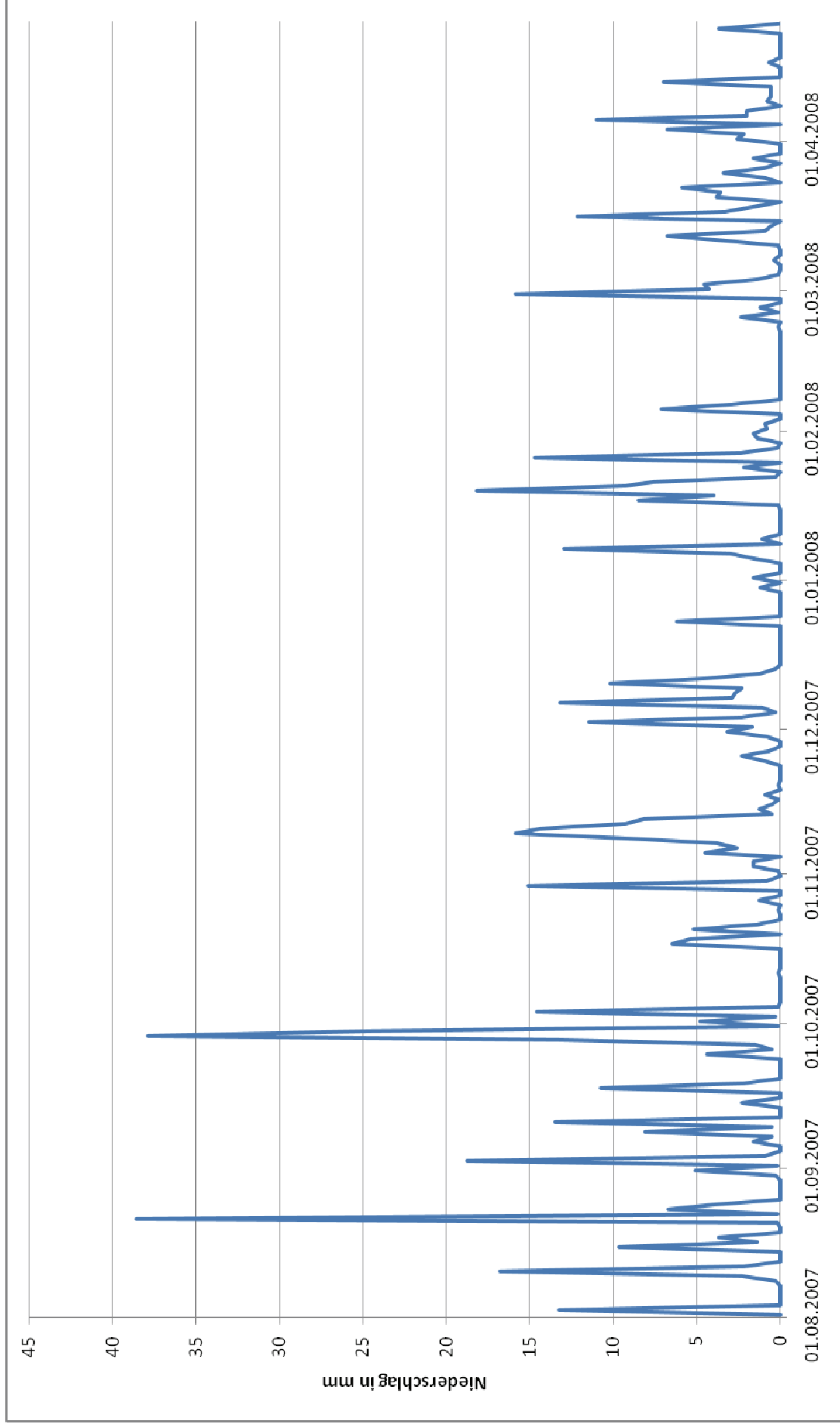


Abbildung-Anhang 2: Niederschlagsverteilung für die Region Hildesheim (2007/2008)

Tabelle-Anhang 5: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Magdeburg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle

Tschernosem 2003/2004					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
247		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
28.02.2003					
01.03.-					
Weizen	31.07.2003	161,8	397,8	163,2	-152,2
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-154,02
	02.08.2003	0	0	1,82	-155,84
	03.08.2003	0	0	1,82	-157,66
	04.08.2003	0	0	1,82	-159,48
	...				
	26.08.2003	0	0	1,82	-195,52
	27.08.2003	0	0	1,82	-197,34
	28.08.2003	3,5	0	1,82	-195,66
	29.08.2003	21,6	0	1,82	-175,88
	30.08.2003	0	0	1,82	-177,7
	31.08.2003	0,9	0	1,82	-178,62
Winter - Klee	01.09.2003	0	1,76	1,32	-181,7
	02.09.2003	1,3	1,76	1,32	-183,48
	03.09.2003	0	1,76	1,32	-186,56
	04.09.2003	0	1,76	1,32	-189,64
	05.09.2003	0	1,76	1,32	-192,72
	06.09.2003	0	1,76	1,32	-195,8
	07.09.2003	1,1	1,76	1,32	-197,78
	08.09.2003	0,6	1,76	1,32	-200,26
	09.09.2003	0,1	1,76	1,32	-203,24
	10.09.2003	24	1,76	1,32	-182,32
	11.09.2003	21,5	1,76	1,32	-163,9
	12.09.2003	1,1	1,76	1,32	-165,88
	13.09.2003	0	1,76	1,32	-168,96
	14.09.2003	0	1,76	1,32	-172,04
	...				
	04.04.2004	0,5	1,76	1,32	-232,08
	05.04.2004	2,5	1,76	1,32	-232,66
	06.04.2004	1,9	1,76	1,32	-233,84
	07.04.2004	4,6	1,76	1,32	-232,32
	08.04.2004	6,4	1,76	1,32	-229
	09.04.2004	0,7	1,76	1,32	-231,38
	10.04.2004	0,3	1,76	1,32	-234,16
	11.04.2004	0	1,76	1,32	-237,24
	12.04.2004	0	1,76	1,32	-240,32
	13.04.2004	0	1,76	1,32	-243,4
	14.04.2004	0	1,76	1,32	-246,48
	15.04.2004	0	1,76	1,32	-249,56
Brache	16.04.2004	0	0	1,82	-251,38

Anhang I

17.04.2004	0	0	1,82	-253,2
18.04.2004	0,7	0	1,82	-254,32
19.04.2004	1,7	0	1,82	-254,44
20.04.2004	0	0	1,82	-256,26
21.04.2004	0	0	1,82	-258,08
22.04.2004	0	0	1,82	-259,9
23.04.2004	11	0	1,82	-250,72
24.04.2004	0	0	1,82	-252,54
25.04.2004	0	0	1,82	-254,36
Zuckerrüben				

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 6: : Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Magdeburg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Tschernosem 2003/2004					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
247		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
					247
	28.02.2003				
	01.03.-				
Weizen	31.07.2003	161,8	397,8	163,2	-152,2
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-154,02
	02.08.2003	0	0	1,82	-155,84
	03.08.2003	0	0	1,82	-157,66
	04.08.2003	0	0	1,82	-159,48
	...				
	26.08.2003	0	0	1,82	-195,52
	27.08.2003	0	0	1,82	-197,34
	28.08.2003	3,5	0	1,82	-195,66
	29.08.2003	21,6	0	1,82	-175,88
	30.08.2003	0	0	1,82	-177,7
	31.08.2003	0,9	0	1,82	-178,62
	01.09.2003	0	0	1,82	-180,44
	02.09.2003	1,3	0	1,82	-180,96
	03.09.2003	0	0	1,82	-182,78
	04.09.2003	0	0	1,82	-184,6
	05.09.2003	0	0	1,82	-186,42
	06.09.2003	0	0	1,82	-188,24
	07.09.2003	1,1	0	1,82	-188,96
	08.09.2003	0,6	0	1,82	-190,18
	09.09.2003	0,1	0	1,82	-191,9
	10.09.2003	24	0	1,82	-169,72
	11.09.2003	21,5	0	1,82	-150,04
	12.09.2003	1,1	0	1,82	-150,76
	13.09.2003	0	0	1,82	-152,58
	14.09.2003	0	0	1,82	-154,4
	...				
	04.04.2004	0,5	0	1,82	-93,48

Anhang I

05.04.2004	2,5	0	1,82	-92,8
06.04.2004	1,9	0	1,82	-92,72
07.04.2004	4,6	0	1,82	-89,94
08.04.2004	6,4	0	1,82	-85,36
09.04.2004	0,7	0	1,82	-86,48
10.04.2004	0,3	0	1,82	-88
11.04.2004	0	0	1,82	-89,82
12.04.2004	0	0	1,82	-91,64
13.04.2004	0	0	1,82	-93,46
14.04.2004	0	0	1,82	-95,28
15.04.2004	0	0	1,82	-97,1
16.04.2004	0	0	1,82	-98,92
17.04.2004	0	0	1,82	-100,74
18.04.2004	0,7	0	1,82	-101,86
19.04.2004	1,7	0	1,82	-101,98
20.04.2004	0	0	1,82	-103,8
21.04.2004	0	0	1,82	-105,62
22.04.2004	0	0	1,82	-107,44
23.04.2004	11	0	1,82	-98,26
24.04.2004	0	0	1,82	-100,08
25.04.2004	0	0	1,82	-101,9
Zuckerrüben				

Angaben in mm

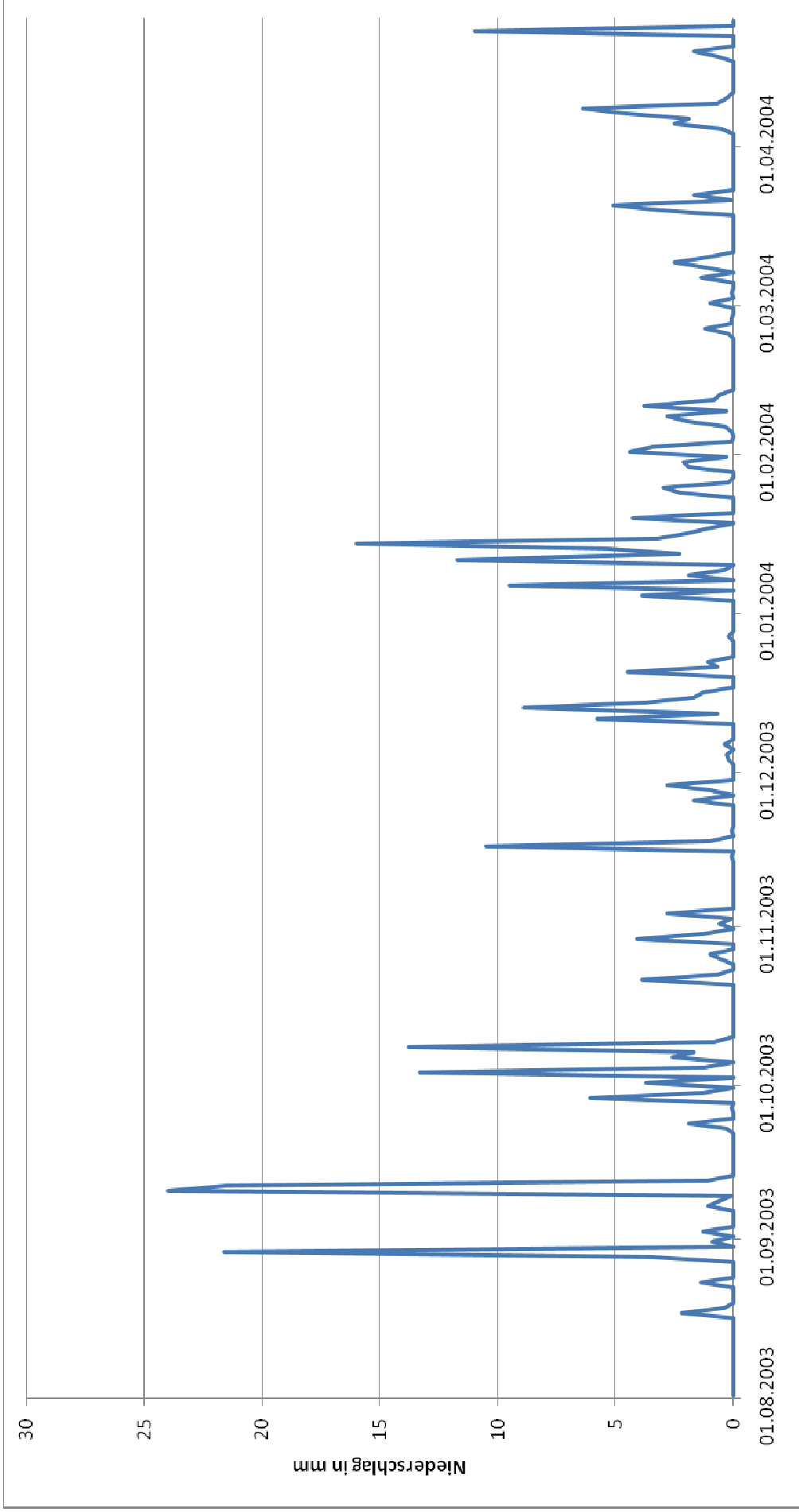


Abbildung-Anhang 3: Niederschlagsverteilung für die Region Magdeburg (2003/2004)

Tabelle-Anhang 7: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Magdeburg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle

Tschernosem 2007/2008					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
247		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				247
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	358	397,8	163,2	44
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	42,18
	02.08.2007	4,9	0	1,82	45,26
	03.08.2007	0	0	1,82	43,44
	04.08.2007	0	0	1,82	41,62
	...				
	26.08.2007	0	0	1,82	78,88
	27.08.2007	0	0	1,82	77,06
	28.08.2007	0	0	1,82	75,24
	29.08.2007	0	0	1,82	73,42
	30.08.2007	0	0	1,82	71,6
	31.08.2007	4,5	0	1,82	74,28
Winter - Klee	01.09.2007	0	1,76	1,32	71,2
	02.09.2007	6,5	1,76	1,32	74,62
	03.09.2007	5	1,76	1,32	76,54
	04.09.2007	7,6	1,76	1,32	81,06
	05.09.2007	0	1,76	1,32	77,98
	06.09.2007	0	1,76	1,32	74,9
	07.09.2007	0	1,76	1,32	71,82
	08.09.2007	1,5	1,76	1,32	70,24
	09.09.2007	0	1,76	1,32	67,16
	10.09.2007	11,1	1,76	1,32	75,18
	11.09.2007	0,1	1,76	1,32	72,2
	12.09.2007	0	1,76	1,32	69,12
	13.09.2007	0	1,76	1,32	66,04
	14.09.2007	0	1,76	1,32	62,96
	...				
	04.04.2008	0	1,76	1,32	83,12
	05.04.2008	6,1	1,76	1,32	86,14
	06.04.2008	0	1,76	1,32	83,06
	07.04.2008	1,8	1,76	1,32	81,78
	08.04.2008	0	1,76	1,32	78,7
	09.04.2008	5,7	1,76	1,32	81,32
	10.04.2008	0,6	1,76	1,32	78,84
	11.04.2008	2,4	1,76	1,32	78,16
	12.04.2008	0	1,76	1,32	75,08
	13.04.2008	5,7	1,76	1,32	77,7
	14.04.2008	7,3	1,76	1,32	81,92
	15.04.2008	6,3	1,76	1,32	85,14
Brache	16.04.2008	0	0	1,82	83,32

Anhang I

	17.04.2008	1,3	0	1,82	82,8
	18.04.2008	0	0	1,82	80,98
	19.04.2008	0	0	1,82	79,16
	20.04.2008	0	0	1,82	77,34
	21.04.2008	0	0	1,82	75,52
	22.04.2008	0	0	1,82	73,7
	23.04.2008	0	0	1,82	71,88
	24.04.2008	3	0	1,82	73,06
	25.04.2008	1,1	0	1,82	72,34
Zuckerrüben					

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 8: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Magdeburg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Tschernosem 2007/2008					
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
247		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				247
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	358	397,8	163,2	44
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	42,18
	02.08.2007	4,9	0	1,82	45,26
	03.08.2007	0	0	1,82	43,44
	04.08.2007	0	0	1,82	41,62
	...				
	26.08.2007	0	0	1,82	78,88
	27.08.2007	0	0	1,82	77,06
	28.08.2007	0	0	1,82	75,24
	29.08.2007	0	0	1,82	73,42
	30.08.2007	0	0	1,82	71,6
	31.08.2007	4,5	0	1,82	74,28
	01.09.2007	0	0	1,82	72,46
	02.09.2007	6,5	0	1,82	77,14
	03.09.2007	5	0	1,82	80,32
	04.09.2007	7,6	0	1,82	86,1
	05.09.2007	0	0	1,82	84,28
	06.09.2007	0	0	1,82	82,46
	07.09.2007	0	0	1,82	80,64
	08.09.2007	1,5	0	1,82	80,32
	09.09.2007	0	0	1,82	78,5
	10.09.2007	11,1	0	1,82	87,78
	11.09.2007	0,1	0	1,82	86,06
	12.09.2007	0	0	1,82	84,24
	13.09.2007	0	0	1,82	82,42
	14.09.2007	0	0	1,82	80,6
				
	04.04.2008	0	0	1,82	221,72

Anhang I

05.04.2008	6,1	0	1,82	226
06.04.2008	0	0	1,82	224,18
07.04.2008	1,8	0	1,82	224,16
08.04.2008	0	0	1,82	222,34
09.04.2008	5,7	0	1,82	226,22
10.04.2008	0,6	0	1,82	225
11.04.2008	2,4	0	1,82	225,58
12.04.2008	0	0	1,82	223,76
13.04.2008	5,7	0	1,82	227,64
14.04.2008	7,3	0	1,82	233,12
15.04.2008	6,3	0	1,82	237,6
16.04.2008	0	0	1,82	235,78
17.04.2008	1,3	0	1,82	235,26
18.04.2008	0	0	1,82	233,44
19.04.2008	0	0	1,82	231,62
20.04.2008	0	0	1,82	229,8
21.04.2008	0	0	1,82	227,98
22.04.2008	0	0	1,82	226,16
23.04.2008	0	0	1,82	224,34
24.04.2008	3	0	1,82	225,52
25.04.2008	1,1	0	1,82	224,8
Zuckerrüben				

Angaben in mm

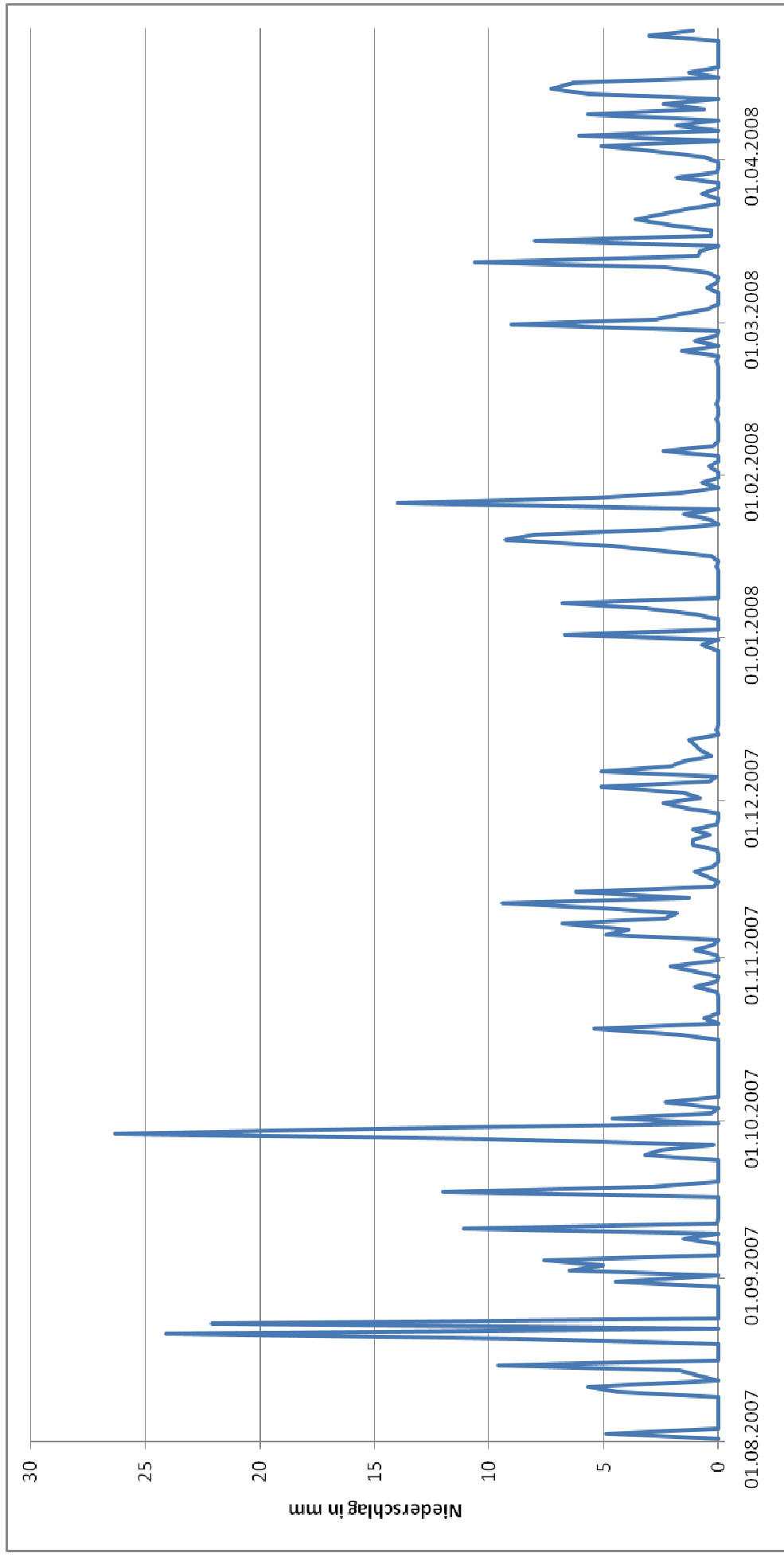


Abbildung-Anhang 4: Niederschlagsverteilung für die Region Magdeburg (2007/2008)

Tabelle-Anhang 9: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Dannenberg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle

Podsol		2003/2004			
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
95		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
					95
	28.02.2003				
	01.03.-				
Weizen	31.07.2003	167,1	397,8	163,2	-298,9
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-300,72
	02.08.2003	0	0	1,82	-302,54
	03.08.2003	0	0	1,82	-304,36
	04.08.2003	0	0	1,82	-306,18
	...				
	26.08.2003	0,1	0	1,82	-345,02
	27.08.2003	0	0	1,82	-346,84
	28.08.2003	3,2	0	1,82	-345,46
	29.08.2003	12,5	0	1,82	-334,78
	30.08.2003	0,1	0	1,82	-336,5
	31.08.2003	0	0	1,82	-338,32
Winter - Klee	01.09.2003	4,8	1,76	1,32	-336,6
	02.09.2003	0	1,76	1,32	-339,68
	03.09.2003	0	1,76	1,32	-342,76
	04.09.2003	0	1,76	1,32	-345,84
	05.09.2003	0	1,76	1,32	-348,92
	06.09.2003	0	1,76	1,32	-352
	07.09.2003	0,5	1,76	1,32	-354,58
	08.09.2003	6,7	1,76	1,32	-350,96
	09.09.2003	0,3	1,76	1,32	-353,74
	10.09.2003	26	1,76	1,32	-330,82
	11.09.2003	15,1	1,76	1,32	-318,8
	12.09.2003	0,3	1,76	1,32	-321,58
	13.09.2003	0	1,76	1,32	-324,66
	14.09.2003	0	1,76	1,32	-327,74
	...				
	04.04.2004	3,5	1,76	1,32	-314,58
	05.04.2004	4,5	1,76	1,32	-313,16
	06.04.2004	5,9	1,76	1,32	-310,34
	07.04.2004	7,8	1,76	1,32	-305,62
	08.04.2004	1,6	1,76	1,32	-307,1
	09.04.2004	0,6	1,76	1,32	-309,58
	10.04.2004	0,3	1,76	1,32	-312,36
	11.04.2004	0	1,76	1,32	-315,44
	12.04.2004	0	1,76	1,32	-318,52
	13.04.2004	0	1,76	1,32	-321,6
	14.04.2004	0	1,76	1,32	-324,68
	15.04.2004	0	1,76	1,32	-327,76
Brache	16.04.2004	0	0	1,82	-329,58

Anhang I

17.04.2004	0	0	1,82	-331,4
18.04.2004	0	0	1,82	-333,22
19.04.2004	8,8	0	1,82	-326,24
20.04.2004	0	0	1,82	-328,06
21.04.2004	0	0	1,82	-329,88
22.04.2004	6,6	0	1,82	-325,1
23.04.2004	1,7	0	1,82	-325,22
24.04.2004	0,1	0	1,82	-326,94
25.04.2004	0	0	1,82	-328,76
Zuckerrüben				

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 10: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Dannenberg (2003/2004) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Podsol		2003/2004			
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
95		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
28.02.2003		95			
01.03.-					
Weizen	31.07.2003	167,1	397,8	163,2	-298,9
Brache	01.08.2003	0	0	1,82	-300,72
	02.08.2003	0	0	1,82	-302,54
	03.08.2003	0	0	1,82	-304,36
	04.08.2003	0	0	1,82	-306,18
	...				
	26.08.2003	0,1	0	1,82	-345,02
	27.08.2003	0	0	1,82	-346,84
	28.08.2003	3,2	0	1,82	-345,46
	29.08.2003	12,5	0	1,82	-334,78
	30.08.2003	0,1	0	1,82	-336,5
	31.08.2003	0	0	1,82	-338,32
	01.09.2003	4,8	0	1,82	-335,34
	02.09.2003	0	0	1,82	-337,16
	03.09.2003	0	0	1,82	-338,98
	04.09.2003	0	0	1,82	-340,8
	05.09.2003	0	0	1,82	-342,62
	06.09.2003	0	0	1,82	-344,44
	07.09.2003	0,5	0	1,82	-345,76
	08.09.2003	6,7	0	1,82	-340,88
	09.09.2003	0,3	0	1,82	-342,4
	10.09.2003	26	0	1,82	-318,22
	11.09.2003	15,1	0	1,82	-304,94
	12.09.2003	0,3	0	1,82	-306,46
	13.09.2003	0	0	1,82	-308,28
	14.09.2003	0	0	1,82	-310,1
	...				
	04.04.2004	3,5	0	1,82	-175,98

Anhang I

05.04.2004	4,5	0	1,82	-173,3
06.04.2004	5,9	0	1,82	-169,22
07.04.2004	7,8	0	1,82	-163,24
08.04.2004	1,6	0	1,82	-163,46
09.04.2004	0,6	0	1,82	-164,68
10.04.2004	0,3	0	1,82	-166,2
11.04.2004	0	0	1,82	-168,02
12.04.2004	0	0	1,82	-169,84
13.04.2004	0	0	1,82	-171,66
14.04.2004	0	0	1,82	-173,48
15.04.2004	0	0	1,82	-175,3
16.04.2004	0	0	1,82	-177,12
17.04.2004	0	0	1,82	-178,94
18.04.2004	0	0	1,82	-180,76
19.04.2004	8,8	0	1,82	-173,78
20.04.2004	0	0	1,82	-175,6
21.04.2004	0	0	1,82	-177,42
22.04.2004	6,6	0	1,82	-172,64
23.04.2004	1,7	0	1,82	-172,76
24.04.2004	0,1	0	1,82	-174,48
25.04.2004	0	0	1,82	-176,3
Zuckerrüben				

Angaben in mm

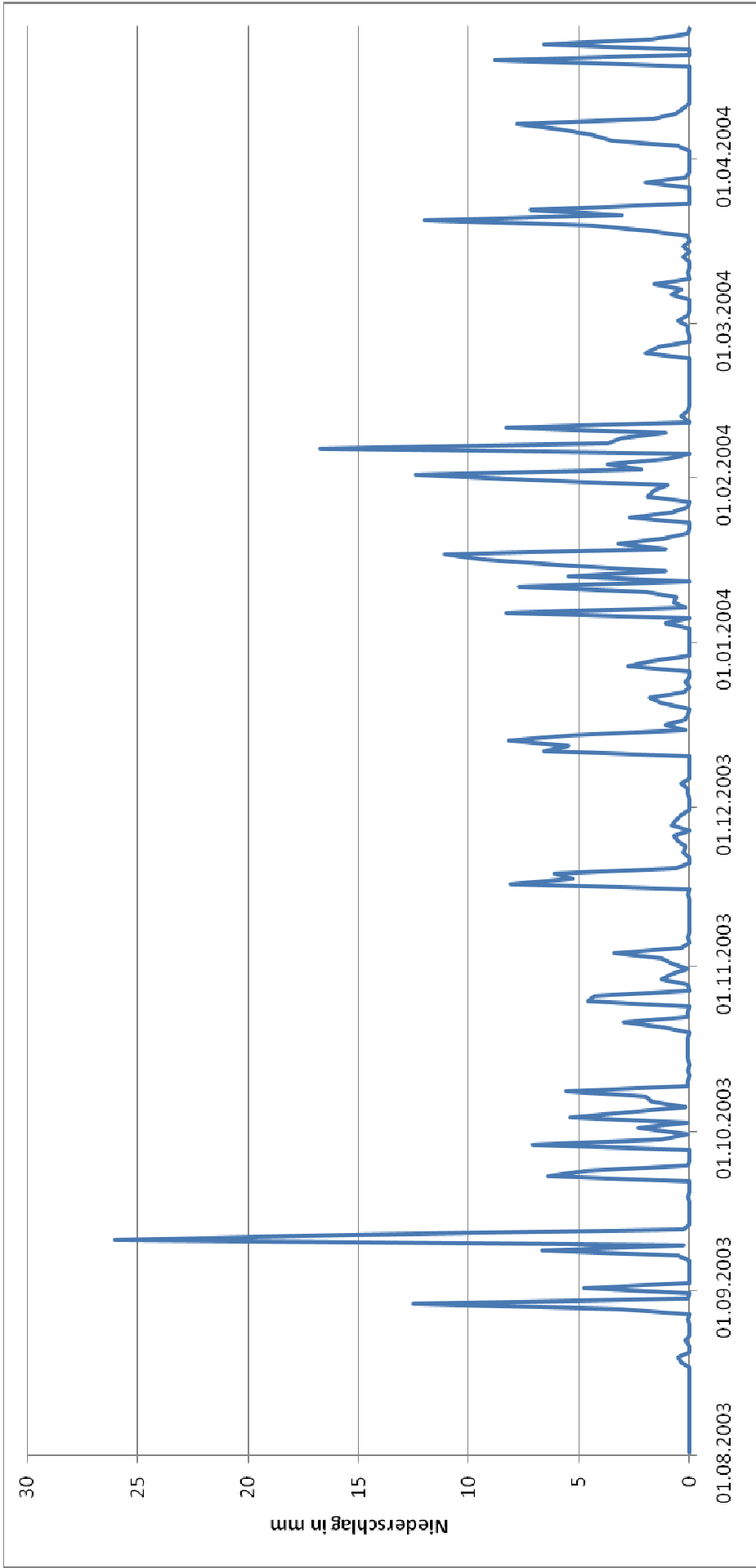


Abbildung-Anhang 5: Niederschlagsverteilung für die Region Dannenberg (2003/2004)

Tabelle-Anhang 11: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Dannenberg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Winter-Inkarnatkle

Podsol		2007/2008			
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
95		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				95
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	401,1	397,8	163,2	-64,9
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	-66,72
	02.08.2007	4,1	0	1,82	-64,44
	03.08.2007	0	0	1,82	-66,26
	04.08.2007	0	0	1,82	-68,08
	...				
	26.08.2007	0,1	0	1,82	-47,82
	27.08.2007	0,1	0	1,82	-49,54
	28.08.2007	0	0	1,82	-51,36
	29.08.2007	0	0	1,82	-53,18
	30.08.2007	2,2	0	1,82	-52,8
	31.08.2007	2,2	0	1,82	-52,42
Winter - Klee	01.09.2007	0	1,76	1,32	-55,5
	02.09.2007	8,9	1,76	1,32	-49,68
	03.09.2007	2,7	1,76	1,32	-50,06
	04.09.2007	2,5	1,76	1,32	-50,64
	05.09.2007	0	1,76	1,32	-53,72
	06.09.2007	0,1	1,76	1,32	-56,7
	07.09.2007	0,1	1,76	1,32	-59,68
	08.09.2007	0	1,76	1,32	-62,76
	09.09.2007	2,3	1,76	1,32	-63,54
	10.09.2007	4,4	1,76	1,32	-62,22
	11.09.2007	0	1,76	1,32	-65,3
	12.09.2007	0,2	1,76	1,32	-68,18
	13.09.2007	0	1,76	1,32	-71,26
	14.09.2007	0,4	1,76	1,32	-73,94
	...				
	25.11.2007	1,1	0,5	0,16	-108,98
	26.11.2007	0,1	0,5	0,16	-109,54
	27.11.2007	0	0,5	0,16	-110,2
	28.11.2007	0	0,5	0,16	-110,86
	29.11.2007	4,3	0,5	0,16	-107,22
	30.11.2007	4,9	0,5	0,16	-102,98
	01.12.2007	0,3	0,5	0,16	-103,34
	02.12.2007	9,6	0,5	0,16	-94,4
	03.12.2007	5,6	0,5	0,16	-89,46
	04.12.2007	0,7	0,5	0,16	-89,42
	05.12.2007	0,7	0,5	0,16	-89,38
	06.12.2007	9,2	0,5	0,16	-80,84
	07.12.2007	2,2	0,5	0,16	-79,3

Anhang I

	08.12.2007	3,2	0,5	0,16	-76,76
	09.12.2007	1,4	0,5	0,16	-76,02
	...				
	23.02.2008	0	0,5	0,16	-17,88
	24.02.2008	5	0,5	0,16	-13,54
	25.02.2008	0,3	0,5	0,16	-13,9
	26.02.2008	7,6	0,5	0,16	-6,96
	27.02.2008	1,3	0,5	0,16	-6,32
	28.02.2008	0	0,5	0,16	-6,98
	29.02.2008	13	0,5	0,16	5,36
	01.03.2008	6,2	1,76	0,16	9,64
	02.03.2008	11,8	1,76	0,16	19,52
	03.03.2008	2	1,76	0,16	19,6
	04.03.2008	5,4	1,76	0,16	23,08
	05.03.2008	0	1,76	0,16	21,16
	06.03.2008	0,3	1,76	0,16	19,54
	07.03.2008	0,5	1,76	0,16	18,12
	...				
	04.04.2008	0,6	1,76	1,32	26,02
	05.04.2008	7,7	1,76	1,32	30,64
	06.04.2008	0,1	1,76	1,32	27,66
	07.04.2008	0,1	1,76	1,32	24,68
	08.04.2008	0	1,76	1,32	21,6
	09.04.2008	1,5	1,76	1,32	20,02
	10.04.2008	0	1,76	1,32	16,94
	11.04.2008	1,5	1,76	1,32	15,36
	12.04.2008	0	1,76	1,32	12,28
	13.04.2008	1,1	1,76	1,32	10,3
	14.04.2008	10,8	1,76	1,32	18,02
	15.04.2008	2,9	1,76	1,32	17,84
Brache	16.04.2008	0	0	1,82	16,02
	17.04.2008	0	0	1,82	14,2
	18.04.2008	0	0	1,82	12,38
	19.04.2008	0	0	1,82	10,56
	20.04.2008	0	0	1,82	8,74
	21.04.2008	0	0	1,82	6,92
	22.04.2008	0	0	1,82	5,1
	23.04.2008	0	0	1,82	3,28
	24.04.2008	0,7	0	1,82	2,16
Zuckerrüben	25.04.2008	0	0	1,82	0,34

Angaben in mm

Tabelle-Anhang 12: Bodenwasserhaushaltsrechnung im Bereich Dannenberg (2007/2008) für die Fruchtfolge mit Schwarzbrache

Podsol		2007/2008			
Nutzbare Feldkapazität (95%)					
95		Niederschlag	Transpiration	Evaporation	Bodenwasserhalt
	28.02.2007				95
	01.03.-				
Weizen	31.07.2007	401,1	397,8	163,2	-64,9
Brache	01.08.2007	0	0	1,82	-66,72
	02.08.2007	4,1	0	1,82	-64,44
	03.08.2007	0	0	1,82	-66,26
	04.08.2007	0	0	1,82	-68,08
	...				
	26.08.2007	0,1	0	1,82	-47,82
	27.08.2007	0,1	0	1,82	-49,54
	28.08.2007	0	0	1,82	-51,36
	29.08.2007	0	0	1,82	-53,18
	30.08.2007	2,2	0	1,82	-52,8
	31.08.2007	2,2	0	1,82	-52,42
	01.09.2007	0	0	1,82	-54,24
	02.09.2007	8,9	0	1,82	-47,16
	03.09.2007	2,7	0	1,82	-46,28
	04.09.2007	2,5	0	1,82	-45,6
	05.09.2007	0	0	1,82	-47,42
	06.09.2007	0,1	0	1,82	-49,14
	07.09.2007	0,1	0	1,82	-50,86
	08.09.2007	0	0	1,82	-52,68
	09.09.2007	2,3	0	1,82	-52,2
	10.09.2007	4,4	0	1,82	-49,62
	11.09.2007	0	0	1,82	-51,44
	12.09.2007	0,2	0	1,82	-53,06
	13.09.2007	0	0	1,82	-54,88
	14.09.2007	0,4	0	1,82	-56,3
	...				
	25.11.2007	1,1	0	0,66	-14,48
	26.11.2007	0,1	0	0,66	-15,04
	27.11.2007	0	0	0,66	-15,7
	28.11.2007	0	0	0,66	-16,36
	29.11.2007	4,3	0	0,66	-12,72
	30.11.2007	4,9	0	0,66	-8,48
	01.12.2007	0,3	0	0,66	-8,84
	02.12.2007	9,6	0	0,66	0,1
	03.12.2007	5,6	0	0,66	5,04
	04.12.2007	0,7	0	0,66	5,08
	05.12.2007	0,7	0	0,66	5,12
	06.12.2007	9,2	0	0,66	13,66
	07.12.2007	2,2	0	0,66	15,2

Anhang I

08.12.2007	3,2	0	0,66	17,74
09.12.2007	1,4	0	0,66	18,48
...				
23.02.2008	0	0	0,66	76,62
24.02.2008	5	0	0,66	80,96
25.02.2008	0,3	0	0,66	80,6
26.02.2008	7,6	0	0,66	87,54
27.02.2008	1,3	0	0,66	88,18
28.02.2008	0	0	0,66	87,52
29.02.2008	13	0	0,66	99,86
01.03.2008	6,2	0	0,66	105,4
02.03.2008	11,8	0	0,66	116,54
03.03.2008	2	0	0,66	117,88
04.03.2008	5,4	0	0,66	122,62
05.03.2008	0	0	0,66	121,96
06.03.2008	0,3	0	0,66	121,6
07.03.2008	0,5	0	0,66	121,44
...				
04.04.2008	0,6	0	1,82	164,62
05.04.2008	7,7	0	1,82	170,5
06.04.2008	0,1	0	1,82	168,78
07.04.2008	0,1	0	1,82	167,06
08.04.2008	0	0	1,82	165,24
09.04.2008	1,5	0	1,82	164,92
10.04.2008	0	0	1,82	163,1
11.04.2008	1,5	0	1,82	162,78
12.04.2008	0	0	1,82	160,96
13.04.2008	1,1	0	1,82	160,24
14.04.2008	10,8	0	1,82	169,22
15.04.2008	2,9	0	1,82	170,3
16.04.2008	0	0	1,82	168,48
17.04.2008	0	0	1,82	166,66
18.04.2008	0	0	1,82	164,84
19.04.2008	0	0	1,82	163,02
20.04.2008	0	0	1,82	161,2
21.04.2008	0	0	1,82	159,38
22.04.2008	0	0	1,82	157,56
23.04.2008	0	0	1,82	155,74
24.04.2008	0,7	0	1,82	154,62
25.04.2008	0	0	1,82	152,8

Zuckerrüben

Angaben in mm

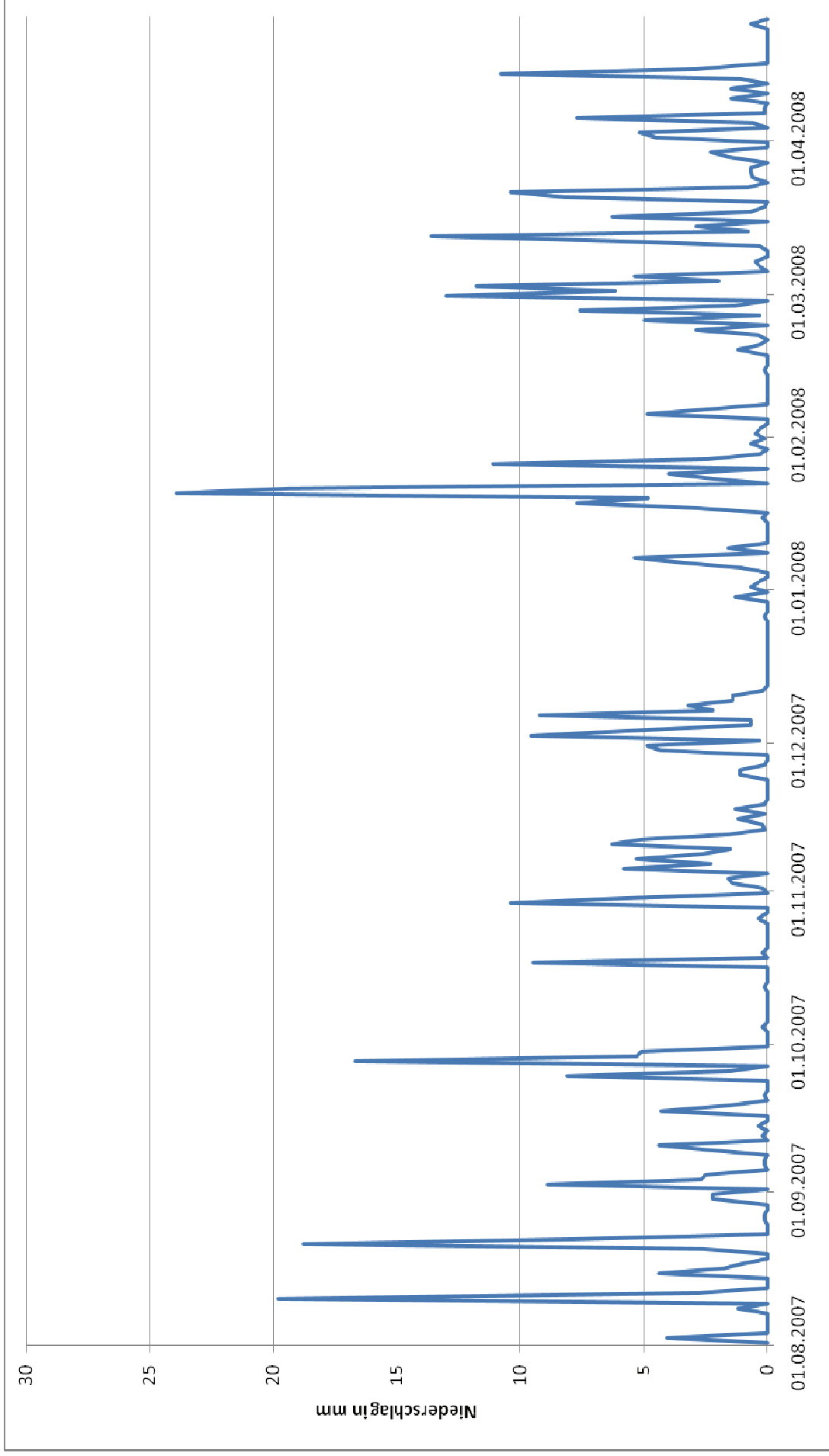


Abbildung-Anhang 6: Niederschlagsverteilung für die Region Dannenberg (2007/2008)

Anhang II

Teil 1: Anbauflächen von Hildesheim und Dannenberg

Teil 2: Klimadaten vom DWD

Teil 3: Berechnung zu den Wasserbilanzen (1.Untersuchungsteil)

Teil 4: Berechnung des Sommer- und Wintermittelwert

Teil 5: Bodenwasserhaushaltsrechnung (2.Untersuchungsteil)

Teil 6: Bodendaten Sachsen-Anhalt (Magdeburger Börde)

→ Die Anhänge sind auf der beigelegten CD-ROM zu finden.



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich,

Kathrin Ladwig

Geboren am 03.01.1986

Hiermit erkläre ich,

Charlotte Henze

Geboren am 15.08.1985

an Eides statt, gegenüber dem Fachbereich Agrarwirtschaft und Lebensmittelwissenschaften, Fachrichtung Agrarwirtschaft, dass die vorliegende, an diese Erklärung angefügte Bachelorarbeit selbstständig und unter Zuhilfenahme ausschließlich der im Quellenverzeichnis aufgeführten Literatur angefertigt wurde.

Zusätzlich erkläre ich, dass ich diese Bachelorarbeit der Hochschulbibliothek Neubrandenburg zur weiteren Verwendung zur Verfügung stellen werde.

Betreuer: Prof. Dr. sc. agr. Bernhard Seggewiß

Titel der Bachelorarbeit: Einfluss von Zwischenfrüchten auf den Wasserhaushalt von Böden

Untertitel der Bachelorarbeit: Analyse zum Wasserverbrauch ausgewählter Zwischenfrüchte am Beispiel der Standorte Hildesheimer Börde, Magdeburger Börde und Lüchow-Dannenberg

Semester: Sommersemester 2008

.....
Ort, Datum

Studierende

.....
Ort, Datum

Studierende