6 Untersuchungen zum Stickstoffhaushalt, zum Bodenwasserhaushalt, zur Sickerwasserbildung und zur Nitratverlagerung

Durch die Form der Bodenbearbeitung wird die Wasserinfiltration beeinflusst. Insbesondere auf geneigten Flächen tritt bei wendender Bodenbearbeitung, wie in Kapitel 5 dargestellt, verstärkt Oberflächenabfluss und Bodenerosion auf. Durch das unterschiedliche Ausmaß des Oberflächenabflusses ist auch der Wasserhaushalt stark beeinflusst. Darüber hinaus stellen Parameter wie Mulchbedeckung, Humusgehalt, Porenverteilung und Makroporendichte wichtige Einflussfaktoren auf den Wasserhaushalt dar. Da diese Parameter, wie dargestellt wurde, stark von der Bodenbearbeitung beeinflusst werden, ist auch ein Einfluss auf den Wasserhaushalt anzunehmen. Darüber hinaus wird der Bodenwasserhaushalt auf ackerbaulich genutzten Flächen stark von den Kulturpflanzen beeinflusst. Die in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung relevanten Parameter sind in diesem Zusammenhang insbesondere die Durchwurzelung des Bodens und der erzielte Ertrag (vgl. Kapitel 7).
Die Auswaschung von Nitrat ist neben der Nitratmenge im Boden von dem Sickerwasseranfall abhängig. Die Mineralisierung von Stickstoff wird u.a. von der Bodentemperatur und der Bodendurchlüftung beeinflusst. Diese Faktoren (insb. die Durchlüftung) werden durch die Bodenbearbeitung stark beeinflusst.

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Untersuchungen zum Nitratgehalt im Boden und zum Bodenwasserhaushalt am Beispiel des Standortes Lüttewitz dargestellt, um auf dieser Grundlage die Sickerwassermengen und die Nitratausträge aus der Bodenzone abzuschätzen.
Die Untersuchungen zum Wasserhaushalt und zur N-min-Dynamik wurden auf allen Versuchsstandorten im Lößbereich (Zschortau, Niederstriegis und Littdorf) durchgeführt. Die Gewinnung von Bodenwasser durch den Einsatz von Saugkerzen fand nur am Standort Lüttewitz statt. Auf die Darstellung des Wasserhaushaltes der letztgenannten Standorte wird an dieser Stelle verzichtet.
Die folgenden Auswertungen und Darstellungen erfolgten im Wesentlichen im Rahmen einer Diplomarbeit, die im Jahr 2002 in einer Zusammenarbeit der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft mit der Universität Leipzig (Institut für Geographie) angefertigt wurde (THIEL 2002)

6.1 Stickstoffdynamik (N_{min}) in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

In Abbildung 32 ist die zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes, aufsummiert für das Bodenprofil von 0 bis 90 cm Tiefe, dargestellt. Deutlich werden im Jahr 1999 und 2000 höhere Werte in der Variante Pflug im Vergleich zu den nicht gepflügten Varianten (im Jahr 1999 erfolgte in der Variante Konservierend-Locker keine durchgehende Beprobung). Im Jahr

2001 konnten in der Variante Direktsaat stark erhöhte Werte festgestellt werden. Der Anstieg des N-min-Gehaltes in den Jahren 1999 und 2000 scheint auf die mineralisationsfördernde Wirkung des Pflugeinsatzes zurückzuführen sein. Diese Wirkung konnte aber im Jahr 2001 nach Getreidevorfrucht nicht bestätigt werden. Der hohe N-min-Gehalt in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 lässt sich eindeutig auf Probleme beim Feldaufgang im Bereich der Messparzellen in diesem Jahr zurückführen. Vermutlich aufgrund einer Störung beim Sägerät liefen in diesem Bereich keine Pflanzen auf, so dass eine Teilfläche im Dezember nachgesät wurde. Jedoch wurde der Bereich, der direkt an die Tensiometer und Saugkerzen angrenzte, dabei ausgespart. Dies führte zu einem fehlenden Pflanzenentzug und erklärt die hohe Abweichung beim Nmin-Gehalt. Verdeutlicht wird hierdurch aber die Auswirkung einer Schwarzbrache im Hinblick auf die Nitrataustragsgefährdung.
Aus den N-min Gehalten in 0 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 32) kann noch kein Verlagerungsrisiko abgeleitet werden, da der Stickstoff aus diesem Bodenbereich noch von den Pflanzen aufgenommen werden kann.

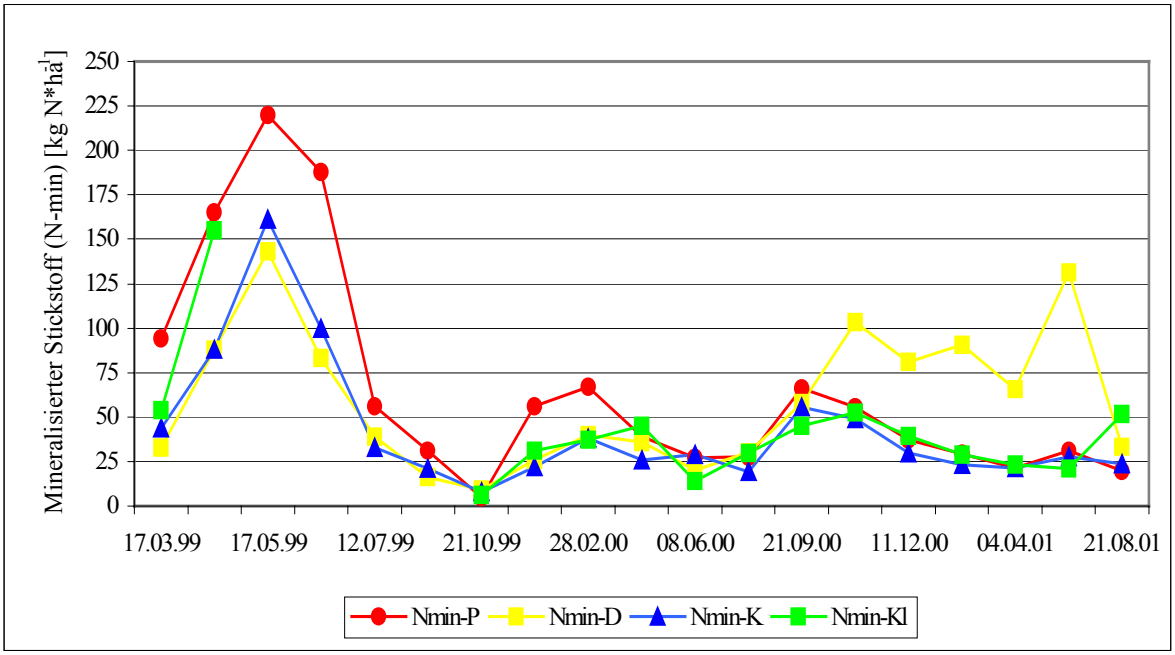

Abbildung 32: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 0 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002), P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

Die N-min-Gehalte in 60 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 33) zeigen dagegen schon deutlicher eine Austragsgefährdung an. Im zeitigen Frühjahr ist mit geringen Pflanzenentzügen, besonders in dieser Bodentiefe zu rechnen, so dass Nitrat bei Auftreten von Sickerwasser stark austragsgefährdet ist. Die Messwerte in dieser Tiefe spiegeln die Werte im gesamten Profil wider, allerdings auf geringerem Niveau. Deutlich zeigen sich die höheren Gehalte in

der gepflügten Variante im Frühjahr und Sommer 1999 und im Winter und Frühjahr 2000. Es ist zu vermuten, dass der durch die Bodenbearbeitung mineralisierte Stickstoff z.T. bereits in diese Bodentiefe verlagert wurde. Auch im Jahr 2001 konnte wieder der sehr hohe N-min-Gehalt in der Variante Direktsaat festgestellt werden, der auf die bereits beschriebenen Probleme mit der Bestandesetablierung zurückzuführen ist.

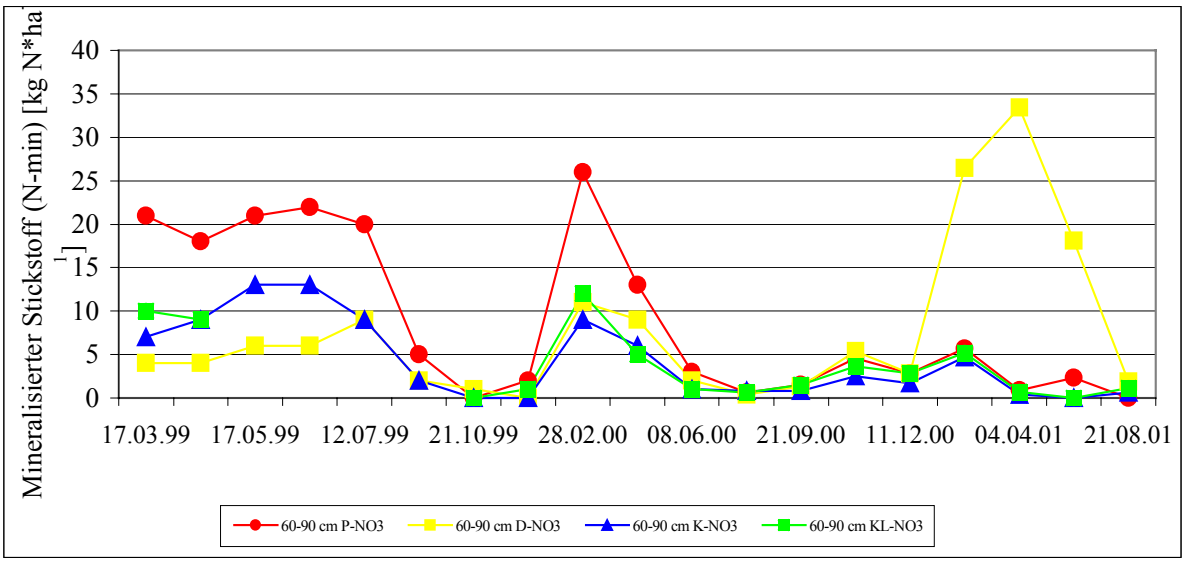

Abbildung 33: Zeitliche Dynamik des N-min-Gehaltes in 60 bis 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

In den Jahren 2000 und 2001 wurde die N-min-Beprobung durch die Entnahme von Bodenlösung mit Hilfe von Saugkerzen ergänzt (Entnahmetiefe: 90 cm) und eine anschließende Nitratbestimmung in der gewonnenen Bodenlösung durchgeführt. Als Unterdruck wurde an die Saugkerzen eine Spannung entsprechend einem pF-Wert von 1,8 angelegt, um das Wasser in den schnell dränenden Poren zu gewinnen und so Aussagen über die Nitrat-Austragsgefährdung anstellen zu können.

Leider können die Messwerte der beiden Methoden nur indirekt verglichen werden, da die Bezugsgröße jeweils eine andere ist. In dem einen Fall (N-min-Methode) wird aus dem N-min-Gehalt im Boden auf die N-Menge je Hektar hochgerechnet, im Fall der Saugkerzenmethode ergibt sich eine N-Konzentrationsangabe in der Bodenlösung. Letzterer Wert kann bei Kenntnis der auftretenden Sickerwassermengen jedoch zu einer relativ genauen Bewertung der tatsächlichen Nitrat-Auswaschung dienen, wogegen der N-min-Gehalt im Boden nur eine Abschätzung der Austragsgefährdung zulässt.

Die Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung (Abbildung 34) zeigt ähnliche Unterschiede wie der N-min-Gehalt in 60 bis 90 cm Tiefe (Abbildung 33). Im Jahr 2000 weicht der Gehalt in der Variante Pflug von den Gehalten in allen anderen Varianten ab, im Jahr 2001 zeigt die

Variante Direktsaat deutlich höhere Werte als die anderen Varianten. Die Ursachen hierfür wurden bereits dargestellt. Im Zeitraum Mitte März bis Mitte April 2001 konnten aber auch in der Variante Pflug im Vergleich zu beiden konservierend bearbeiteten Varianten leicht erhöhte Nitratgehalte in der Bodenlösung festgestellt werden.
Die in Abbildung 34 dargestellten Wertereihen weisen teilweise Lücken auf bzw. betreffen z.T. unterschiedliche Zeiträume. Grund hierfür ist, dass nicht zu jedem Termin in jeder Variante mit der angelegten Saugspannung Bodenwassergewonnen werden konnte. Besonders auffällig ist dies im Jahr 2001. In der Variante Direktsaat konnte über einen weitaus längeren Zeitraum Bodenlösung abgesaugt werden. Auch hierfür ist der fehlende bzw. schwache Pflanzenbestand im Bereich der Saugkerzen verantwortlich, der zu einem weitaus geringeren Bodenwasserentzug geführt hat.

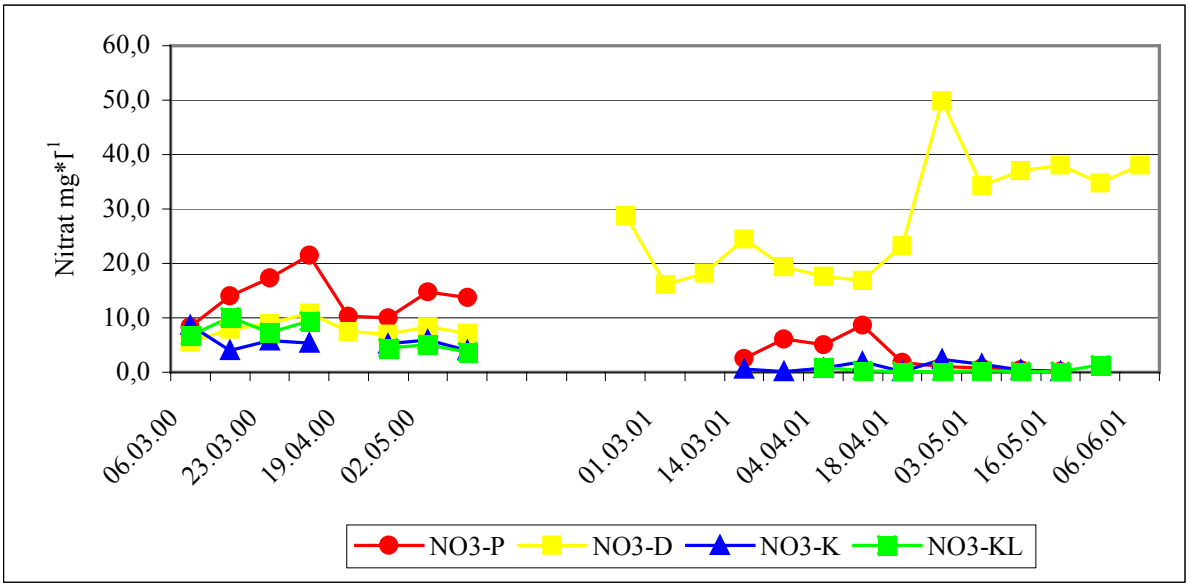

Abbildung 34: Zeitliche Dynamik des Nitrat-Gehaltes in der Bodenlösung (Saugkerzenmethode) in 90 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

6.2 Bodenwasserhaushalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Der Wassergehalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung und der Tiefe wurde an allen Lößstandorten in den drei Untersuchungsjahren erfasst. In Abbildung 35 ist die Dynamik des Wasserhaushaltes am Beispiel des Standortes Lüttewitz dargestellt. Als Interpolationsmethode wurde das Verfahren "Inverse Distance to a Power" verwendet. Bei Betrachtung der Abbildung 35 ist auf die angegebenen Zeiträume auf der Abzisse zu achten, da die Messungen i.d.R. zwischen der Ernte und der Aussaat der Folgekultur unterbrochen wurden, was in der Darstellung zu Verzerrungen führt. In Zeiten fehlender Messwerte wurden die Werte

interpoliert, was zu Werten führt, die für diese Zeiträume i.d.R. nicht den realen Verhältnissen entsprechen. Jedoch eignet sich die Darstellungsart sehr gut zur Verdeutlichung der zwischen den Bodenbearbeitungsvarianten auftretenden Unterschiede im Bodenfeuchteregime.

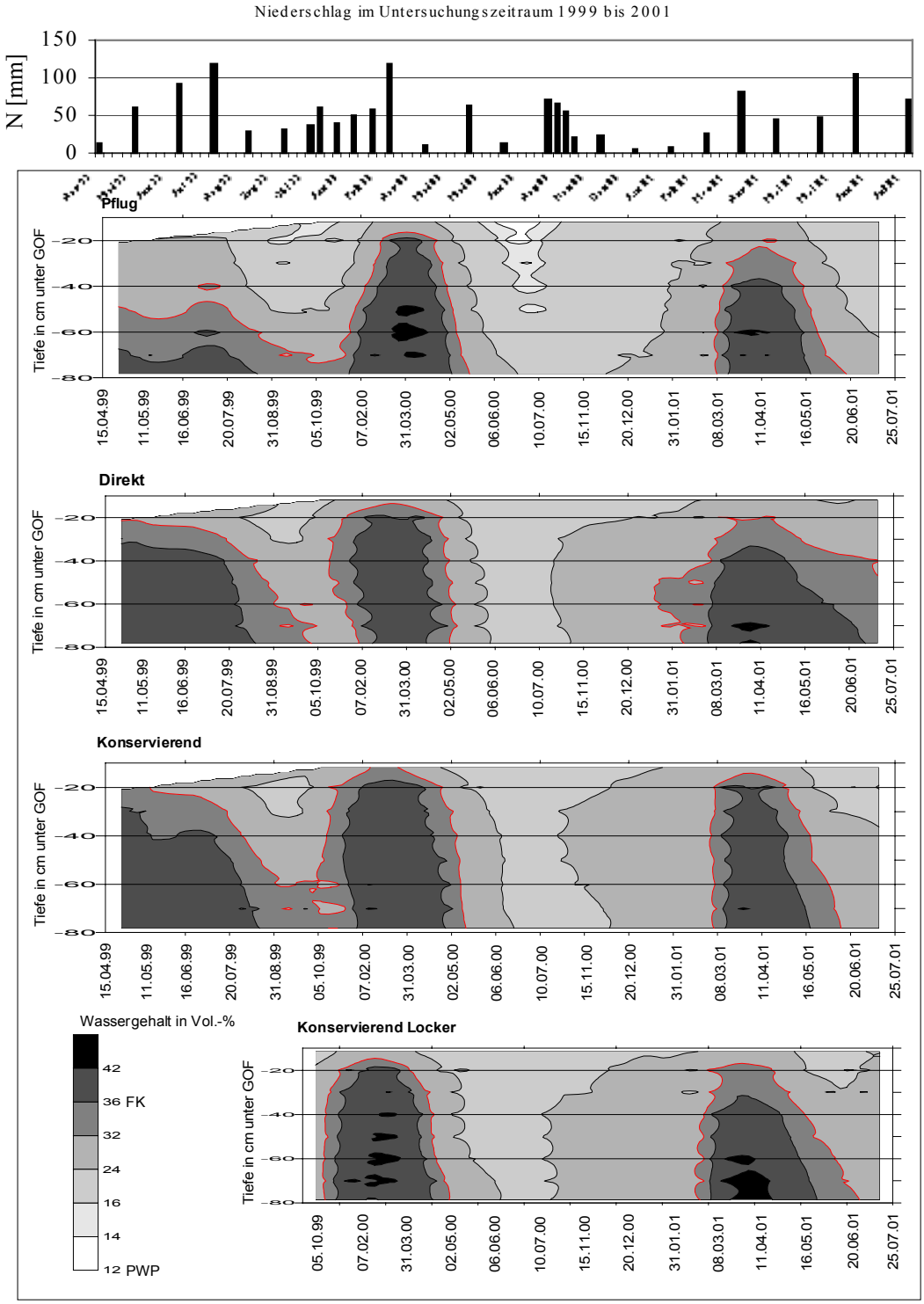

Abbildung 35: Niederschlagsverteilung (Monatssummen) und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 0 bis 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002), GOF: Geländeoberfläche

In den Varianten Pflug, Konservierend und Direkt wurde in einem Zeitraum zwischen April 1999 und Juli 2001 gemessen, in der Variante Konservierend Locker wurde erst im Oktober 1999 mit den Messungen begonnen (Abbildung 35).
Aus Abbildung 35 wird deutlich, dass der Wassergehalt in den nicht gepflügten Parzellen in einem Großteil des Messzeitraumes höher war als in der Variante Pflug. Dies gilt insbesondere für den Frühsommer 1999, den Sommer und Herbst 2000 und den Frühsommer 2001. Im letztgenannten Zeitraum fällt der hohe Wassergehalt in der Direktsaatvariante auf, der wahrscheinlich auf den bereits beschriebenen schlechten Feldaufgang und damit geringen Wasserentzug durch die Pflanzen in dieser Variante zurückzuführen ist.
Die Unterschiede in den übrigen Zeiträumen lassen sich auf mehrere Ursachen zurückführen, deren Anteil aber schwer zu quantifizieren ist.
Aus Feldbeobachtungen erscheint als wichtigster Unterschied zwischen der gepflügten und den anderen drei Varianten das Auftreten von Oberflächenabfluss. In der Variante Pflug trat auf einem Großteil der Fläche und auch im Bereich der Messparzellen in jedem Jahr Oberflächenabfluss auf. Dies konnte an Abflussbahnen und Erosionserscheinungen festgemacht, aber nicht quantifiziert werden. Das Auftreten von Oberflächenabfluss war nicht an unbedeckten Boden gebunden. Auch bei hohem Deckungsgrad durch den Pflanzenbestand floss in der Pflug-Variante Wasser oberflächlich ab. In der Variante Direktsaat konnten in keinem Fall Indizien für das Auftreten von Oberflächenabfluss festgestellt werden, in den konservierend bearbeiteten Varianten beschränkte sich dies auf geringe Ausprägungen in wenigen Fahrspuren. Diese Beobachtungen auf der Fläche werden durch die Beregnungs- und Abtragsversuche gestützt (vgl. Kap. 5). Insbesondere die Unterschiede im Wassergehalt in den Monaten April bis Juli lassen sich auf diesen Unterschied zurückführen, da in diesem Zeitraum ein Großteil der Oberflächenabfluss auslösenden, erosiven Niederschläge auftrat.
Ein weiterer für den Wasserhaushalt relevanter Unterschied zwischen den Varianten ist in der Mulchbedeckung zu sehen. Diese kann die unproduktive Verdunstung reduzieren. Dies könnte im Zeitraum Oktober bis Dezember 2000 (Strohreste der Vorfrucht Winterweizen) eine größere Rolle gespielt haben.
Die ausreichende Verfügbarkeit des Wassers für den Pflanzenbestand war in den nicht gepflügten Varianten an diesem Standort in den drei Untersuchungsjahren gegeben. In der Variante Pflug konnte im August 1999 für wenige Tage bei den Zuckerrüben eine deutliche Blattwelke beobachtet werden, die in keiner der anderen Varianten auftrat. Dieser Wassermangel konnte anhand der in Abbildung 35 dargestellten Messwerte nur bedingt nachvollzogen werden. Bevor sich dieser Unterschied stärker ausprägen konnte, trat wieder Niederschlag auf (Abbildung 35).
Im Juni 2000 zeigten die Messwerte einen deutlichen Mangel an pflanzenverfügbaren Wasser in der Variante Pflug im Gegensatz zu den anderen Varianten an. Auswirkungen auf den

Ertrag ließen sich nicht feststellen (vgl. Tabelle 47). In der Variante Pflug wurde in diesem Jahr sogar der höchste Ertrag erzielt. Denkbar ist eine stärkere Ausschöpfung des Bodenwasservorrates zur Bildung des leicht erhöhten Ertrages.

In Abbildung 36 ist der Wassergehalt in 30 cm Tiefe für die Messzeiträume dargestellt. Die Darstellung bestätigt die vorangehenden Ausführungen. Es wird deutlich, dass in der Variante Pflug z.T. ein erheblich niedrigerer Wassergehalt als in den anderen Varianten auftrat. Die Unterschiede betrugen bis zu 16 Vol-% (Dezember 99). In den Zeiträumen der maximalen Wassersättigung (Wintermonate) traten dagegen keine nennenswerten Unterschiede zwischen den Varianten auf.

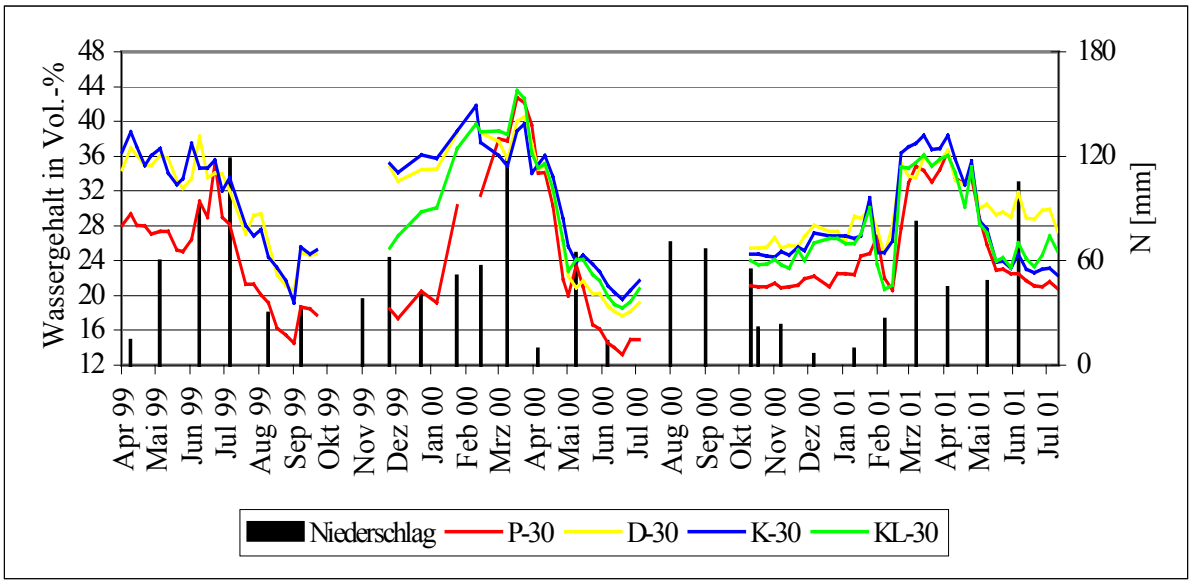

Abbildung 36: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

Abbildung 37 zeigt den Wassergehalt in 60 cm Tiefe. Deutlich wird, dass die Unterschiede zwischen den Varianten tendenziell wie in der Tiefe 30 cm auftreten, allerdings in sehr viel geringerer Ausprägung.

Der Verlauf des Wassergehaltes in 80 cm Tiefe zeigt demgegenüber nur noch geringe, scheinbar unspezifische Unterschiede zwischen den Bearbeitungsvarianten (Abbildung 38).

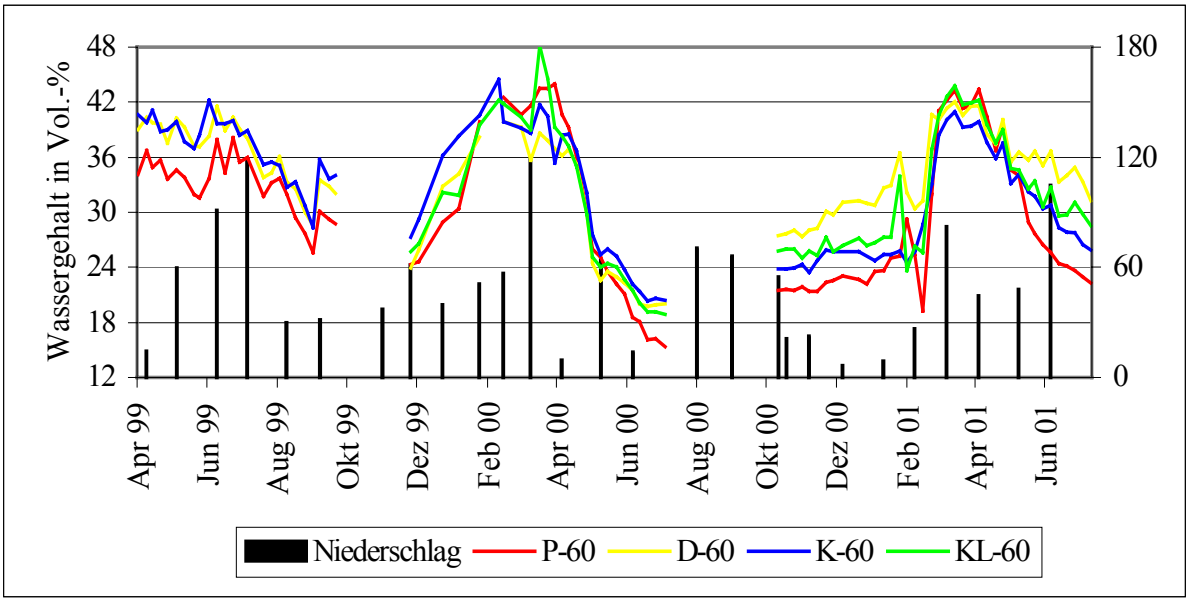

Abbildung 37: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 60 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

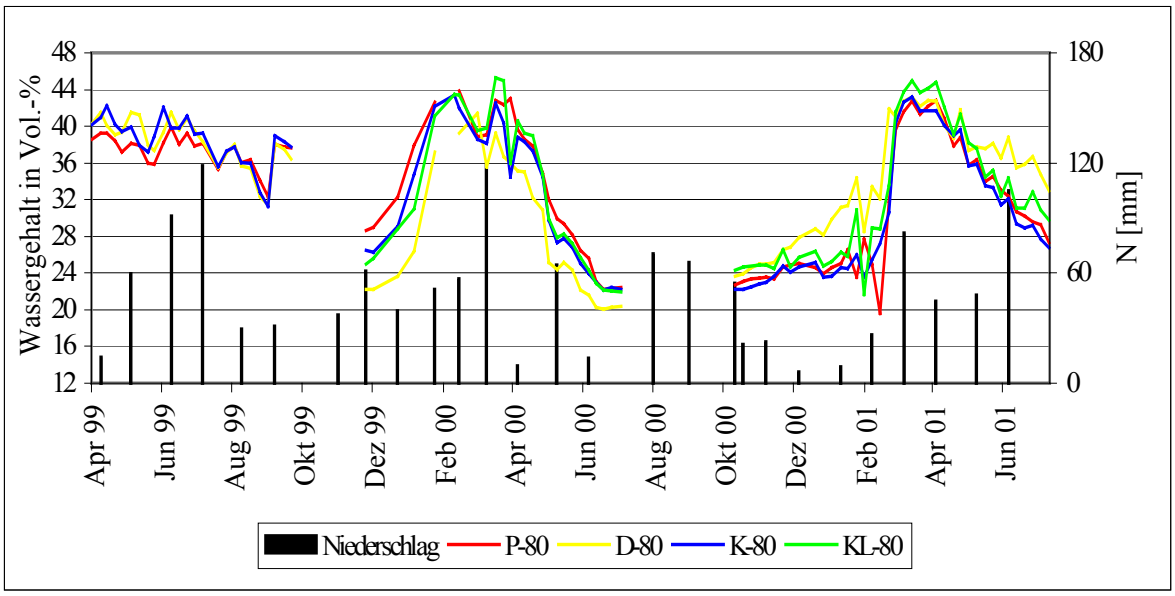

Abbildung 38: Niederschlagsverteilung und Dynamik des Wassergehaltes [Vol.-%] in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

In Abbildung 39 und Abbildung 40 ist die Dynamik der Saugspannung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung in der Tiefe 30 und 80 cm dargestellt. Die Unterschiede, die mit Hilfe der TDR-Technik für den volumetrischen Wassergehalt dargestellt werden konnten, kommen

bei der Anwendung der Saugkerzenmethode nicht so deutlich zum Ausdruck. Da ein Großteil der Differenzierung zwischen den Varianten in Bereichen oberhalb eines pF-Wertes von 2,6 auftritt, ist dies nachvollziehbar, da dieser Saugspannungsbereich aufgrund des Abreißens der Wassersäule durch die verwendeten Tensiometer nicht mehr erfasst werden kann. Die Ergebnisse der Tensiometermessungen eigneten sich aber sehr gut zur Ermittlung des hydraulischen Potenzials zwischen den beprobten sechs Tiefenstufen.

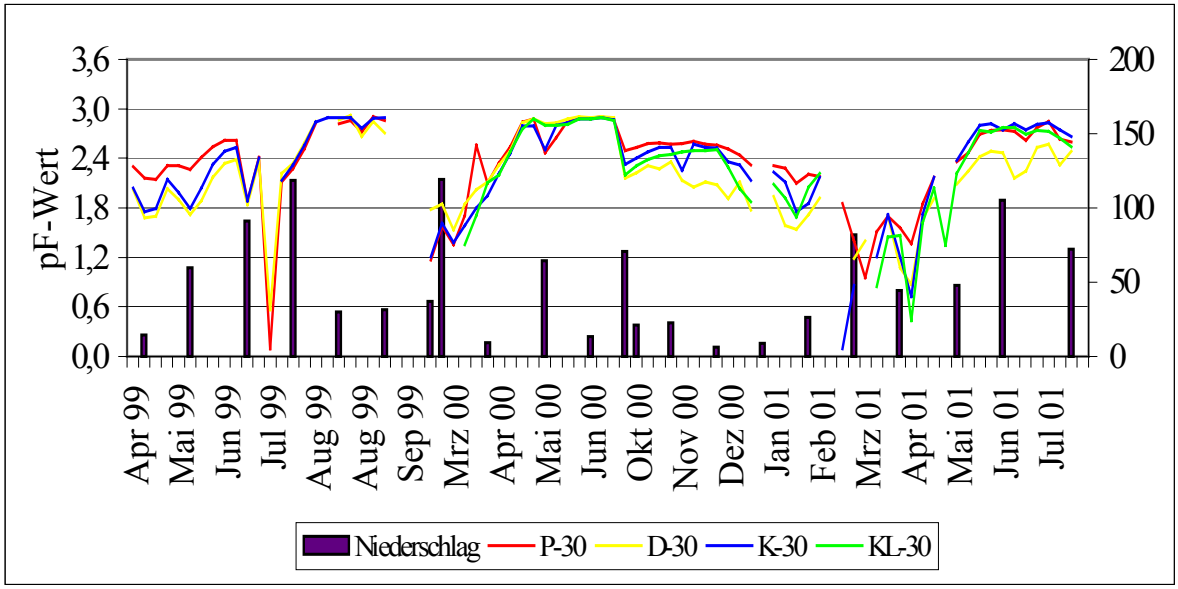

Abbildung 39: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 30 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

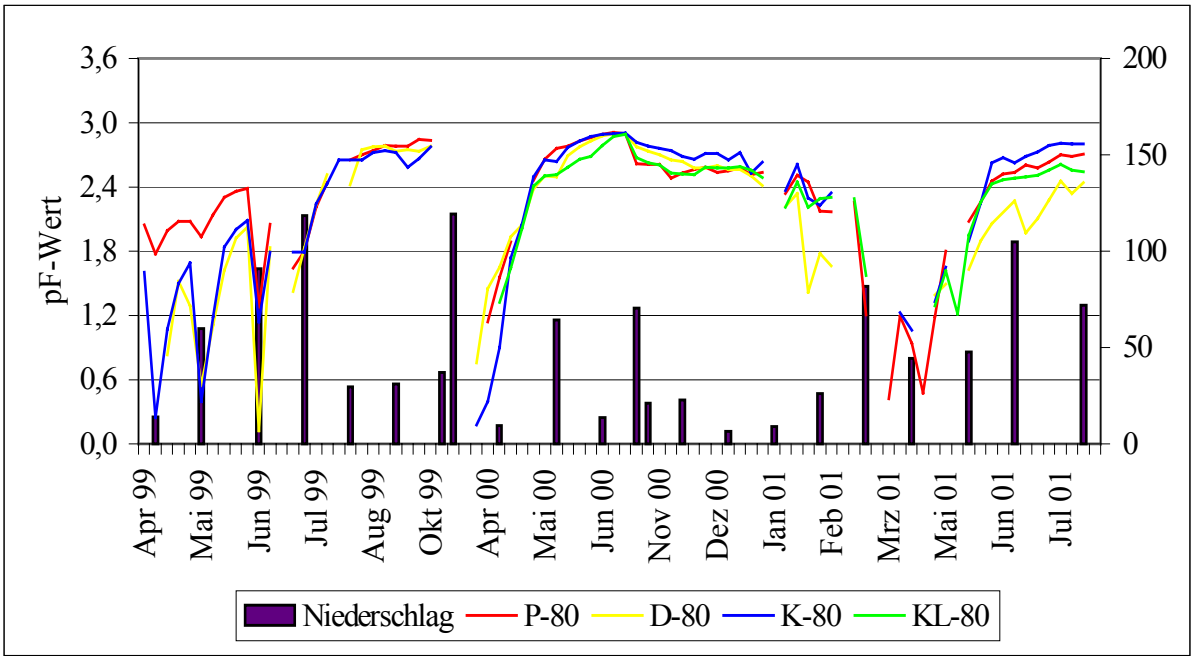

Abbildung 40: Niederschlagsverteilung und Dynamik des pF-Wertes in 80 cm Tiefe am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung, Darstellung: THIEL (2002) , P=Pflug, D=Direktsaat, K=Konservierend, L=Locker

6.3 Sickerwasserbildung in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Die dargestellten Ergebnisse verdeutlichen die Unterschiede im Stickstoff- und Wasserhaushalt in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Um aus diesen Werten zu einer Berechnung der Sickerwassermenge, und darauf basierend der Nitratverlagerung, zu kommen, wurde die klimatische Wasserbilanz (KWB) für den Standort berechnet.

Darüber hinaus erfolgte anhand eines Abgleiches der Messungen zum volumetrischen Wassergehalt (TDR-Messungen) mit den Messungen zur Wasserspannung (Tensiometer-Messungen) eine Bestimmung des Wassergehaltes für den pF-Wert 1,8 (Grenze zum schnell dränenden Wasser, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 1989). Dies ist beispielhaft für die Tiefenstufe 80 cm in Abbildung 41 dargestellt.

In dieser Bodentiefe konnte für die Variante Direktsaat bei pF 1,8 ein Wassergehalt von 38 Vol-% und für alle anderen Varianten ein Wert von 39 Vol-% ermittelt werden. Vergleichbar wurden diese Werte für die Tiefenstufe 30 cm und 60 cm ermittelt. Die so ermittelten Wassergehalte bei pF 1,8 stimmten nicht immer mit den Werten für die Feldkapazität nach Stechzylinderbeprobung überein (vgl. Tabelle 11), was insbesondere auf eine trotz homogener Textur stark ausgeprägte kleinräumige Heterogenität der Bodeneigenschaften zurückzuführen ist.

Die tageweise ermittelte KWB wurde für die Bodenfeuchteänderung im Boden veranschlagt. Bei Bilanzüberschüssen wurde die Wassermenge dem Bodenwassergehalt zugerechnet. Dezimeterweise konnte so eine näherungsweise Bewertung des Sickerwasserauftretens errechnet werden (d.h. das Überschreiten der für pF 1,8 ermittelten Wassergehalte). Dieses Wasser wurde rechnerisch dem nächsten Bodenkompartiment zugeschlagen. Bei negativer Bilanz wurden die Werte entsprechend verringert. Diese Methodik wird u.a. bei WATULLA (1987), RIEß (1993) und TEEBKEN ET AL. (1994) beschrieben. Verbessert wurde die Genauigkeit der erhaltenen Werte durch die wöchentliche Möglichkeit zur "Kalibrierung" anhand der jeweils aktuellen Messwerte.

Zusätzlich wurde für die Beurteilung ob Sickerwasser auftreten kann aus den Tensiometermessungen der hydraulische Gradient bestimmt, der die Aussage erlaubt, ob und in welche Richtung eine Wasserbewegung erfolgt.

Ein kapillarer Aufstieg konnte aufgrund des hohen Grundwasserflurabstandes für die Berechnungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Das Auftreten von Oberflächenabfluss ist ein Parameter, der für die betrachteten Wasserhaushaltsparameter von Bedeutung ist. Mit Hilfe des Erosionssimulationsmodells EROSION 2D, das auch ein Infiltrationsmodul enthält, wurde für die im Untersuchungszeitraum gemessenen Starkniederschläge eine Abschätzung durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation wiesen nur für das Jahr 1999 (Zuckerrüben) für drei Ereignisse Oberflächenabfluss aus. Für die Variante Pflug wurden insgesamt 17,3 mm Oberflächenabfluss errechnet, für die Variante Direktsaat 4,2 mm. In den beiden konservierend bearbeiteten Varianten trat nach Modellergebnissen kein Oberflächenabfluss auf. Diese Werte entsprechen offensichtlich nicht vollständig den realen Verhältnissen, da, wie bereits dargestellt, auch in den Jahren 2000 und 2001 in der Variante Pflug Symptome für das Auftreten von Oberflächenabfluss festgestellt wurden. Da diese Mengen jedoch nicht genauer bestimmt werden konnten, wurden die Modellergebnisse als Näherungswert angenommen und in den Wasserhaushaltsberechnungen berücksichtigt.

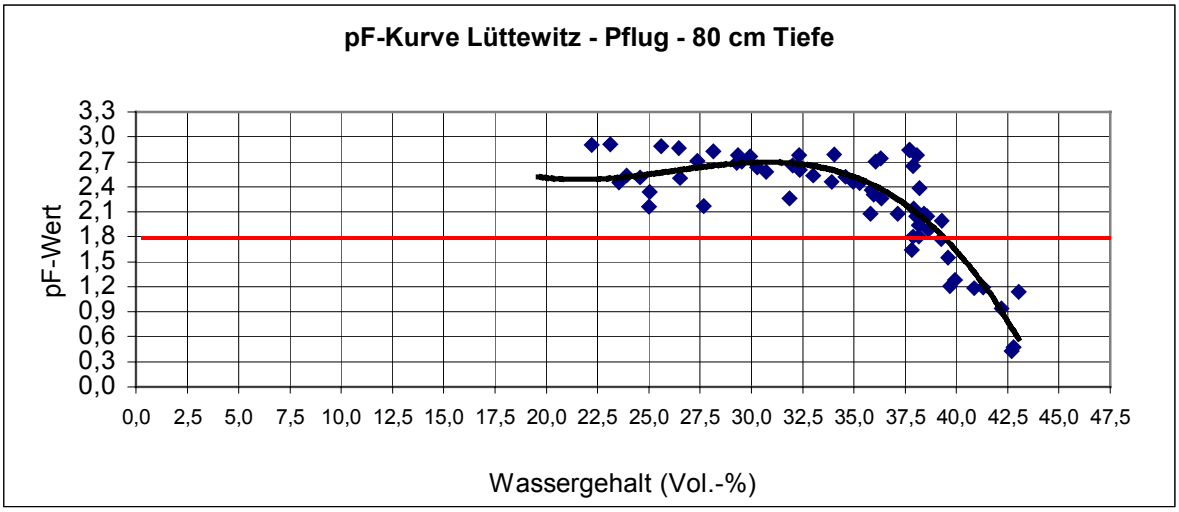

Abbildung 41: Ermittlung des Volumetrischen Wassergehaltes in 80 cm Bodentiefe bei pF 1,8 am Beispiel der Variante Pflug auf Grundlage von TDR- und Tensiometermessungen, Darstellung: THIEL (2002)

Das vorgestellte Vorgehen bei der Sickerwasserermittlung führte zu den in Tabelle 40 dargestellten berechneten Sickerwassermengen für die Tiefe 80 cm in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung. Die errechneten Sickerwassermengen in 80 cm Tiefe werden vereinfachend gleichgesetzt mit einem Austrag aus der Bodenzone und als Grundlage für die Ermittlung der Nitratverlagerung genutzt, auch wenn die Durchwurzelungstiefe an diesem Standort z.T. deutlich höher war.

Die Messungen zeigen, dass in den Jahren 1999 und 2001 (Zeitraum nur bis 25.07.2001) in der Variante Pflug die geringste Sickerwassermenge anfiel. Besonders deutlich ist der Unterschied im Jahr 1999 aufgrund der Berücksichtigung des Oberflächenabflusses. Der hohe Wert in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 resultiert aus dem bereits beschriebenen schlechten Feldaufgang und der damit verbundenen geringen Wasseraufnahme durch den Pflanzenbestand.

Tabelle 40: Sickerwasserbildung (80 cm Tiefe) [mm] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
Summe 1999	125,2	-	159,0	166,4
Summe 2000	223,7	216,3	210,0	189,5
Summe 2001*	99,2	156,1	127,7	164,8
Summe 1999 bis 2001*	448,1	-	496,8	520,7
Summe 2000 + 2001	322,9	372,4	337,8	354,3

*: Messung nur bis 25.07.2001

Die dargestellten Ergebnisse verdeutlichen, dass bei Umstellung der Bodenbearbeitung hin zu pfluglosen Verfahren eine Steigerung der Sickerwassermenge und damit eine höhere

Grundwasserneubildung auftritt. Zu beachten ist in diesem Zusammenhang, dass die Ergebnisse auf Lößböden erzielt wurden. Eine Übertragbarkeit auf andere Bodenarten bleibt zu überprüfen.
Der in der Pflugvariante aufgetretene Oberflächenabfluss hatte einen erheblichen Einfluss auf die Differenzierung der Sickerwassermengen. Dies bedeutet, dass die erzielten Ergebnisse insbesondere auf geneigte Flächen zu übertragen sind.
Die durchgeführten Beregnungssimulationen (vgl. Kapitel 5, Tabelle 36) zeigten, dass die Verhinderung bzw. Verminderung des Oberflächenabflusses durch konservierende Bodenbearbeitung auch auf den Verwitterungsböden im Festgesteinsbereich erzielt werden kann. Analog zu den Ergebnissen im Lößgebiet ist also auch im Festgesteinsbereich mit einem höheren Sickerwasseranfall bei konservierender Bodenbearbeitung zu rechnen.

6.4 Nitratverlagerung aus der Bodenzone in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Anhand der Nitratgehalte in der Bodenlösung, die mit Hilfe von Saugkerzen gewonnen wurde und der berechneten Sickerwassermenge in den entsprechenden Zeiträumen wurde die Verlagerung von Stickstoff aus der Bodenzone ermittelt. Vereinfachend wurden die Messwerte dabei auf die Fläche von einem Hektar hochgerechnet. Dabei wurden zwei verschiedene Ansätze gewählt, die beide im Hinblick auf die tatsächlichen N-Austräge gewisse Nachteile aufweisen.
Die N-Gehalte in der Bodenlösung wurden anhand von Proben bestimmt, die durch Saugkerzen gewonnen wurden. In den Saugkerzen wurde ein Unterdruck von 200 cm WS eingestellt, der einem pF-Wert von 2,3 entspricht. Die Saugkerzen wurden wöchentlich kontrolliert und ggf. das gespeicherte Bodenwasser entnommen und erneut Unterdruck angelegt.
Im ersten Berechnungsansatz wurden die N-Gehalte mit den jeweils für die Messspanne errechneten Sickerwassermengen verrechnet und so der N-Austrag bestimmt (Tabelle 41). Dabei wurde davon ausgegangen, dass nur in den Zeiträumen in denen bei einer Saugspannung von 200 cm WS in den Saugkerzen Bodenwasser gewonnen wurde, auch Sickerwasser auftrat. Jedoch war der Zeitraum, für den das Sickerwasserauftreten wie beschrieben berechnet wurde in fast allen Fällen länger, so dass bei diesem Ansatz ein Teil des Sickerwassers nicht berücksichtigt wurde.
Aus diesem Grund wurde im zweiten Ansatz die gesamte berechnete Sickerwassermenge berücksichtigt und die N-Austräge unter Zuhilfenahme der durchschnittlichen N-Gehalte in der Bodenlösung ermittelt. Dieser Ansatz ergab in der Regel gleiche oder höhere Werte für den N-Austrag (Tabelle 42). In einem Fall wurde eine geringere ausgetragene N-Menge

errechnet (Variante Pflug, Jahr 2001, Tabelle 42). Diese Unplausibilität ergab sich aufgrund der z.T. großen Schwankung der N-Gehalte.

Die errechneten Werte waren für beide Jahre in allen Varianten bei beiden Berechnungsansätzen mit Werten zwischen 0,1 und 10,3 kg*ha^{-1} recht gering (Tabelle 41 und Tabelle 42). Der erhöhte Wert in der Variante Direktsaat im Jahr 2001 resultierte wiederum aus dem schwachen Pflanzenbestand im Bereich der Messparzelle. Ansonsten spiegelt sich in den Austragswerten der in der Bodenlösung der Pflugvariante erhöhte Nitratgehalt im Vergleich zu den konservierend bestellten Varianten wieder (vgl. Abbildung 34). Dieser führte in der Pflugvariante hinsichtlich des N-Austrages offenbar zu einer Überkompensierung des erhöhten Sickerwasseranfalls bei Pflugverzicht.

Durch den Einsatz von Saugkerzen wurden wahrscheinlich nicht alle Verlagerungsprozesse erfasst. Die Verlagerung von Stoffen in Makroporen ist mit dieser Methode nicht sicher zu erfassen. Hierfür wäre der Einsatz von Saugplatten zu präferieren, was jedoch einen weitaus höheren Aufwand bedeutet. Darüber hinaus ist der Einbau der Saugplatten oftmals mit erheblichen methodischen Schwierigkeiten verbunden.

Tabelle 41: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
2000	3,1	1,8	1,7	1,5
2001	1,1	0,1	0,2	8,9

*: Unter Berücksichtigung ausschließlich der Zeiträume, in denen mit Hilfe von Saugkerzen bei Saugspannung von 200 cm WS Bodenlösung gewonnen werden konnte. Verwendung von berechneten Sickerwassermengen und gemessenen Nitrat-Gehalten in diesem Zeitraum

Tabelle 42: Berechnete Nitrat-N-Verlagerung* aus der Bodenzone [kg*ha^{-1}] am Standort Lüttewitz in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Jahr	Pflug	Kons.-L.	Kons.	Direkt
2000	6,9	3,3	2,6	3,3
2001	0,9**	0,2	0,3	10,3

*: Unter Berücksichtigung der gesamten berechneten Sickerwassermenge. Verwendung der in der Bodenlösung durchschnittlich gemessenen Nitratgehalte

**: der geringere N-Austrag bei Berücksichtigung der gesamten Sickerwassermenge in der Variante Pflug resultiert aus der sehr stark schwankenden Nitrat-Konzentration in der Bodenlösung. In den Zeiträumen mit erhöhter Sickerwasserbildung wurde auch eine hohe Nitratkonzentration gemessen. Aufgrund der Durchschnittsbildung werden diese Zeiträume untergewichtet

6.5 Modellierung des Wasserhaushaltes in Abhängigkeit von der Bodenbearbeitung

Bei den vorab dargestellten Daten handelt es sich um die Ergebnisse aus Punktmessungen auf Praxisschlägen. Die Ergebnisse belegen die infiltrationsfördernde sowie boden- und

nährstoffabtragsmindernde Wirkung der konservierenden Bodenbearbeitung. Um Aussagen zu den Auswirkungen bei flächenhafter Anwendung dieser Bodenbearbeitungsverfahren z.B. auf den Landschaftswasser- und -stoffhaushalt zu treffen, muss auf Modelle zurückgegriffen werden.
Wie verschiedene Arbeiten auch im Rahmen des Forschungsverbundes "Elbe-Ökologie" belegen, ist die Modellierung für den Bodenwasser- und -stoffhaushalt für konventionell bearbeitete Ackerflächen mit bestimmten Einschränkungen und Ungenauigkeiten in der Regel möglich. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die dargestellten Auswirkungen der konservierenden Bodenbearbeitung von keinem bisher verfügbaren Modell in ausreichender Genauigkeit vorausgesagt werden können. Bei Eingabe der entsprechenden Parameter berechnen manche Modelle sogar die den vorhandenen Messergebnissen genau widersprechenden Auswirkungen. So wird z.B. von vielen Modellen bei einer Erhöhung der Bodendichte eine verminderte Wasserleitfähigkeit abgeleitet. Ursache ist in diesem Fall, dass insbesondere der Makroporenfluss und die erhöhte Funktionalität der Makroporen modelltechnisch bislang nicht nachvollzogen werden.
Neben der Makroporosität können die Unterschiede in der Verschlämmungsanfälligkeit der Bodenoberfläche sowie die Wasserspeicherung und die Verdunstungsminderung durch die Mulchauflage bislang nicht ausreichend gefasst werden.
Das Erosionssimulationsmodell EROSION 2D/3D ist in der Lage, die Bodenerosion in Abhängigkeit von der Art der Bodenbearbeitung sehr exakt zu berechnen (SCHMIDT ET AL. 1996). Dies wurde durch zahlreiche Abtragsversuche mit einer Großberegnungsanlage auf unterschiedlichen Böden in Sachsen in den Jahren 1994 bis 1996 sichergestellt. Aus diesen Abtragsversuchen wurde u.a. ein an die jeweiligen Bodenverhältnisse angepasster Korrekturfaktor (Skinfaktor) ermittelt, der die auf Grundlage des Infiltrationsansatzes nach GREEN UND AMPT (1911) erechneten Werte korrigiert. Jedoch geben die Werte zum Oberflächenabfluss oftmals nicht die in den Beregnungsversuchen ermittelten großen Unterschiede zwischen den Bodenbearbeitungsverfahren wider.

Auch andere überprüfte Wasser- und Stoffhaushaltsmodelle können dies offenbar nicht leisten. So konnten die gemessenen Effekte mit Hilfe des Modells ARCEGMO nicht nachgebildet werden (MARSCHALL 2000). Gleiches gilt offenbar für die Modelle AKWA-M, MINERVA bzw. MESO-N (mündliche Mitteilung SCHWARZE 2001 und BEBLIK 2001).

Aufgrund der Neuartigkeit der dauerhaft konservierenden Bodenbearbeitung liegen wenig Untersuchungsergebnisse über die Auswirkungen dieser Bewirtschaftungsverfahren auf den Wasserhaushalt vor. Die bestehende Datengrundlage zur Unterstützung der Modellentwicklung im Hinblick auf eine Abbildung der Effekte konservierender Bodenbearbeitungsverfahren ist noch nicht annähernd ausreichend. Erschwerend kommt

hinzu, dass die konservierende Bodenbearbeitung sich durch eine sehr große Variabilität auszeichnet und kein Leit- bzw. Standardgerät für die konservierende Bearbeitung vorliegt, wie es mit dem Pflug im Rahmen der wendenden Bodenbearbeitung gegeben ist. Diese hohe Variabilität ist aber gerade gewünscht und wesentliches Kennzeichen der konservierenden Bodenbearbeitung, da sie eine stetige Anpassung der Bodenbearbeitung als Reaktion auf die Bodenart, die Witterung, den Strukturzustand, die Bodenfeuchte, die Anforderungen der folgenden Kulturpflanze, die Menge an Pflanzenresten der Vorfrucht etc. erlaubt (KTBL, 1998). Die Variation der Bodenbearbeitung erfolgt z.B. in Form der Gerätewahl (Grubber, Scheibenegge, Kreiselegge...), der Bearbeitungstiefe, der Häufigkeit der Bearbeitungsgänge etc. Jede Kombination kann unterschiedlichen Einfluss auf wesentliche, den Wasser- und Stoffhaushalt bestimmende Eigenschaften des Bodens nehmen. Dies veranschaulicht die Bedeutung der vorab vorgestellten Untersuchungen z.B. hinsichtlich der bodenphysikalischen und bodenchemischen Auswirkungen der unterschiedlichen konservierenden Bestellverfahren.

Dies bedeutet, dass zukünftig weitere Untersuchungen zum Wasser- und Stoffhaushalt für unterschiedliche konservierende Bodenbearbeitungsverfahren auf unterschiedlichen Standorten in verschiedenen Fruchtfolgen durchgeführt werden müssen, um die Grundlage zu schaffen, die relevanten Auswirkungen dieser Verfahren modelltechnisch abzusichern.