

Dr. Beate Klöcking:

Parametrisierung und Validierung des PSCN-Moduls anhand der Messwerte der

Altengotternschen Lysimeterstationen

Im Rahmen des

Verbundvorhabens "Integrierte Analyse der Auswirkungen des Globalen Wandels auf die Umwelt und die Gesellschaft im Elbegebiet (GLOWA-Elbe)"

Teilprojekt 3

"Das Unstrutgebiet als Beispiel für einen durch intensive Landwirtschaft geprägten funktionalen Landschaftstyp im Mittelgebirgsvorland"

Quelle:

Abschlussbericht GLOWA-Elbe I (BMBF, Förderkennzeichen: 07 GWK 03),

Auszug aus Anlage TP3-A3, Dezember 2003

1	Parametrisierung des ArcEGMO-Moduls PSCN anhand der Lysimeterversuche in Altengottern.....	2
1.1	Die Versuchsflächen	2
1.2	Parametrisierung des Modells	5
2	Modellvalidierung anhand der Lysimeteruntersuchungen.....	7
2.1	Bodenwasserhaushalt	7
2.2	Pflanzendynamik.....	11
2.3	Kohlenstoff-/Stickstoffhaushalt	12
3	Literatur.....	16

1 Parametrisierung des ArcEGMO-Moduls PSCN anhand der Lysimeterversuche in Altengottern

1.1 Die Versuchsflächen

Im BMBF-Verbundprojekt „Unstrutrevitalisierung“ wurden im Jahr 1997 im Altengotternschen Ried mehrere Lysimeter installiert, um in Abhängigkeit von den Standorteigenschaften den Einfluss landwirtschaftlicher Nutzung auf die Stoffverlagerung aus der Wurzelzone zu ermitteln. Diese Messungen wurden im Rahmen des BMBF-Projektes GLOWA-Elbe weitergeführt. Somit liegen für den Zeitraum 1997 bis 2003 Messreihen zu Sickerwassermenge, Sickerwasserqualität, Bodenfeuchte, mineralischen Bodenstickstoffgehalten sowie Bestandesdaten für drei Auenstandorte (A1, A3, A5) und eine Untersuchungsfläche im Speisungsgebiet (A4: Tonmergelrendzina auf Keuper) vor (Abbildung 1). Die einzelnen Untersuchungsflächen bestehen aus der eigentlichen Lysimeteranlage (Sickerwassermenge und -qualität in 190 bzw. 130 cm Tiefe), den Umgebungsflächen mit den Saugsonden, dem Grundwasserpegel (beides nur in der Auenniederung) und den Bodendauerbeobachtungsflächen. Auf den zugeordneten Dauerbeobachtungsflächen mit 4 Einzelparzellen einer Abmessung von je 25*25m erfolgte die Standortaufnahme am Leitbodenprofil, die Bodenfeuchtemessung mit Neutronensonde oder gravimetrisch, die Bestimmung der N_{min}-Gehalte und der Erntemengen. Die Bodentemperatur wurde nur auf dem Gley-Standort A5 unter Grünland bestimmt.

Der Ertrag wurde mit Hilfe von Parzellenernten (A1 und A2: mehrmals während der Vegetationszeit auf von der Beweidung vorübergehend ausgegrenzten Parzellen von 20*20 m nach VON BOBERFELD (1990), A3 und A4 Endernte auf den vier Einzelparzellen der Dauerbeobachtungsfläche) ermittelt. Auf dem Grünland erfolgte die Ertragsbestimmung in 7-facher Wiederholung auf einer Teilfläche, auf den Ackerflächen in 4 Wiederholungen auf vier Teilflächen. Weitere Bestandesparameter wie Bestandeshöhe, Durchwurzelungstiefe und Bedeckungsgrad wurden abgeschätzt. Für die Bestimmung des biomassegebundenen Stoffaustrages wurde eine Analyse der Pflanzenproben auf ihren Gehalt an N, S, K, Ca, Mg, Na und P durchgeführt. Auf dem Grünland wurden die Pflanzeninhaltsstoffe durch Mischproben mehrerer Ertragsparzellen in dreifacher Wiederholung und auf dem Ackerland in vierfacher Wiederholung bestimmt. Angaben zur Bewirtschaftung (Bodenbearbeitung, Düngung, Pflanzenschutz und Viehbesatz) wurden durch Befragung des Bewirtschafters oder eigene Erhebungen zusammengetragen.

Die Lysimeter haben eine Oberfläche von 2m² und eine Tiefe von 1,3 bis 2,5 m. Die Lysimeter in der Auenniederung sind so beschaffen, dass das Grundwasser ungehindert in den zu betrachtenden Bodenmonolithen eintreten kann. Für die Abbildung des Vertikalgradienten der Sickerwasser-/Grundwasserbeschaffenheit befinden sich in der Auenniederung auf allen Messplätzen in 50, 90 und 140 cm Tiefe in fünffacher Wiederholung Saugsonden, die unter Einwirkung eines wöchentlich vorzulegenden Unterdruckes Boden- und Grundwasser sammeln. Die Saugsonden sind 60...70 cm lang und in Abstand von 40 cm horizontal in den Boden eingebaut. Die Lysimeter im Speisungsgebiet sind seitwärts und am unteren Ende mit einem Stahlmantel umschlossen. Die Tiefe beträgt 1,3 m und entspricht der maximalen

Durchwurzelungstiefe. Ringförmig über dem Lysimeterboden angeordnete Saugsonden leiten das Sickerwasser unter Einwirkung eines wöchentlich vorzulegenden Unterdruckes in Sammelbehälter ab. Die Probenahme des Boden-/Grundwassers erfolgte an allen Messplätzen wöchentlich.

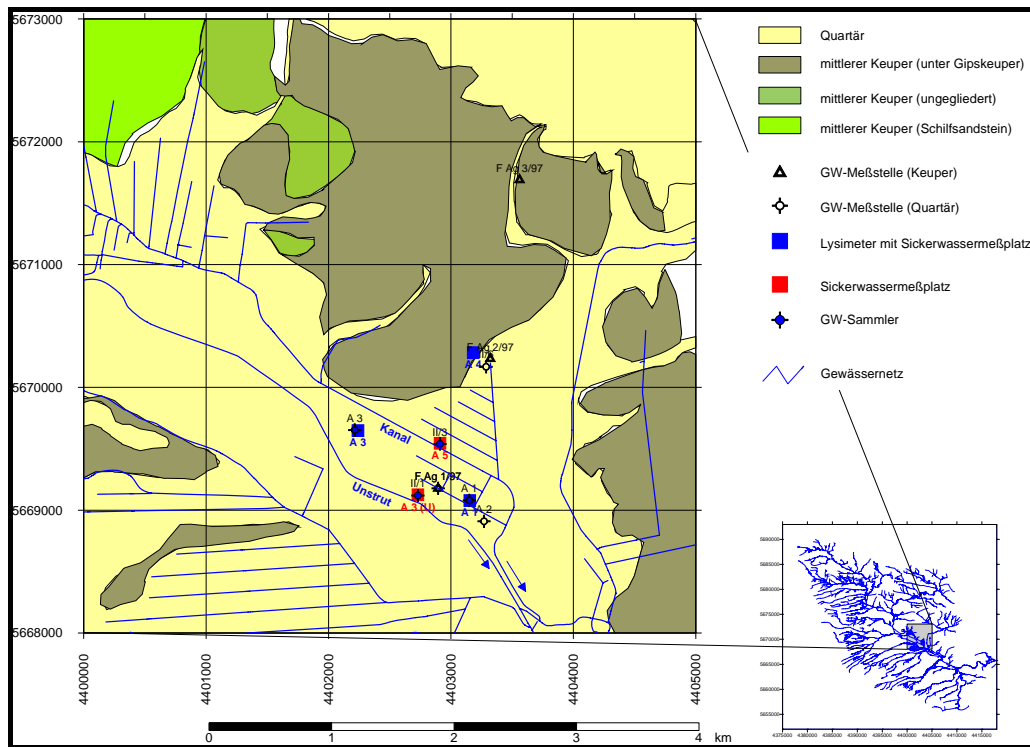


Abbildung 1: Messanordnung zu Detailuntersuchungen im Altengotternsches Ried

Für die Parametrisierung und Validierung des PSCN-Moduls von ArcEGMO wurden die beiden ackerbaulich bewirtschafteten Versuchsflächen A3 und A4 ausgewählt. Die in den Tabelle 1 und 2 enthaltenen bodenphysikalischen und bodenchemischen Parameter wurden bei der Modellierung berücksichtigt.

Tabelle 1: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften der Tonmergelrendzina

Horizont	Skelett	Sand	Schluff	Ton	GPV [Vol%]	WC bei pF (Vol%)					Dichte [g/cm ³]	kf [cm/d]	Corg (%)	Nt (%)	pH
						1.5	2.0	2.5	3.0	4.2					
Ap	2.1	4.7	49.6	45.7	52.9	39.0	36.3	34.9	33.7	28.3	1.26	58.80	2	0.21	0.21
...23															
Ah-Cc...34	1.7	5.8	50.4	43.8	53.3	39.4	36.3	34.8	33.3	25.8	1.25	171.3	2	0.21	0.21
	9.5	23.4	32.1	44.5	44.4	40.3	38.2	36.7	35.5	30.8	1.49	54.35	1.3	0.15	0.15
Cc...73	2.0	43.3	30.5	26.2	39.1	35.6	33.7	31.5	29.9	28.0	1.63	17.81	0.2	0.04	0.04
Cn>90	34.7	67.0	15.1	17.9	38.4	33.5	32.0	30.3	29.9	24.4	1.70	7.34	0.2	0.03	0.03

Für die Beschreibung der meteorologischen Bedingungen auf den Untersuchungsflächen können die Messwerte der DWD-Niederschlagsstationen Großwelsbach und Kirchheilingen sowie der Wetterstation Kirchengel des Agrarmeteorologischen Messnetzes herangezogen werden. Außerdem wurden die, für das meteorologische Referenzszenario in GLOWA-ELBE für den Standort Kirchheilingen interpolierten, Klimagrößen genutzt, die bis zum 31.12.2000 vorliegen. Die täglichen Grundwasserflurabstände des Auenstandortes A3 (Vega) wurden anhand der wöchentlichen Messwerte interpoliert. Der Tonmergelrendzina-Standort A4 am Keuper-Rand wurde als grundwasserfern simuliert.

Tabelle 2: Ausgewählte bodenphysikalische und -chemische Eigenschaften der Vega

Horizont	Skelett	Sand	Schluff	Ton	GPV [Vol%]	WC bei pF (Vol%.)					Dichte [g/cm ³]	kf [cm/d]	Corg (%)	Nt (%)	pH
						1.5	2.0	2.5	3.0	4.2					
Ap	0.3	4.8	71.6	23.8	54.4	38.6	34.0	30.1	27.2	18.6	1.21	298.9	1.4	0.16	7.3
...30	0.1	2.1	71.2	26.7	50.0	43.9	34.8	30.7	27.9	19.9	1.32	141	1.2	0.15	7.2
M...53	0.1	1.2	71.9	27.0	47.1	45.7	42.1	38.2	29.4	18.1	1.40	26.8	0.7	0.09	7.4
M-Go ...70	0.1	1.6	60.6	38.0	52.4	44.0	42.4	41.2	40.0	27.5	1.26	66.1	0.8	0.10	7.4
Go...90	0.1	1.0	55.4	43.5	51.1	42.9	41.1	39.7	38.3	21.6	1.30	28.6	1.2	0.10	7.4
Gor ...140	0.3	3.4	48.1	48.5	50.5	43.8	42.5	41.5	40.2	33.7	1.31	4.7	1.0	0.13	7.4
G(o)r ...175	1.5	6.5	53.5	39.9	49.8	41.3	40.1	38.6	37.2	33.8	1.33	17.1	0.5	0.08	7.5
Gr ...210	0.1	1.10	46.4	52.6	54.7	50.8	49.0	47.0	44.9	33.0	1.20	9.5	0.9	0.11	7.5

Tabelle 3: Fruchtarten, Erträge und N-Düngung auf der Vega

Jahr	Fruchtart	N-Düngung [kg N/ha]	Trockenmasse [dt/ha]		N-Gehalt [kg/ha]		
			Korn	Stroh	Korn	Stroh	
1997	Winterweizen	184	Mittel	85.2	70.4	180.5	81.3
			Min	71.7	57.7		
			Max	96.1	86.3		
1998	Ackerbohnen	-	Mittel	32.1	24.6	168.0	39.5
			Min	20.4	17.4		
			Max	44.2	31.6		
1999	Sommerweizen	70	Mittel	70.3	82.4	164.8	37.9
			Min	65.1	70.2		
			Max	76.0	95.3		
2000	Sommergerste	45	Mittel	46.1	33.3	78.7	21.6
			Min	38.7	27.8		
			Max	52.4	37.7		
2001	Winterraps	111	Mittel	28.9	49.3	101.5	33.4
			Min	15.9	36.4		
			Max	40.1	63.4		
2002	Winterweizen	204	Mittel				
			Min				
			Max				

Tabelle 4: Fruchtarten, Erträge und N-Düngung auf der Tonmergelrendzina

Jahr	Fruchtart	N-Düngung	Trockenmasse [dt/ha]			N [kg/ha]	
				Korn	Stroh	Korn	Stroh
1997	Winterweizen	237	Mittel	58.9	45.3	147.8	30.7
			<i>Min</i>	46.2	32.9		
			<i>Max</i>	73.2	58.9		
1998	Sommergerste	67	Mittel	45.4	31.7	102.9	20.8
			<i>Min</i>	37.4	23.8		
			<i>Max</i>	60.6	38.6		
1999	Winterraps	214	Mittel	40.6	75.9	145.0	54.1
			<i>Min</i>	22.6	50.0		
			<i>Max</i>	60.1	119.7		
2000	Winterweizen	108	Mittel	47.1	72.0	134.7	43.3
			<i>Min</i>	34.4	56.8		
			<i>Max</i>	60.7	116.9		
2001	Winterweizen	140	Mittel	64.2	67.7	166.7	37.9
			<i>Min</i>	34.5	32.1		
			<i>Max</i>	80.3	87.0		
2002	Sommergerste	50					

Auf beiden Untersuchungsflächen wurden Winterweizen, Sommerweizen, Sommergerste, Winterraps und Ackerbahnen in wechselnder Fruchtfolge angebaut. Gedüngt wurde rein mineralisch in ein bis vier Gaben. Das Stroh ist nach der Ernte auf dem Feld verblieben. Bei den in

Tabelle 3 und Tabelle 4 angegebenen Ertragsmengen handelt es sich um die mittleren Werte der vier Parzellen und zwei/drei Lysimeter pro Standort.

1.2 Parametrisierung des Modells

Der Leitgedanke der Modellierung mit ArcEGMO besteht in der Forderung, die Anzahl der kalibrierbaren Parameter so gering wie möglich zu halten. Diese beschränken sich beim PSCN-Modul auf die optimalen Umsatzkoeffizienten der Bodenstickstoffdynamik und einige Pflanzenparameter. Da in das PSCN-Modul das gleiche Pflanzenmodell wie in SWAT2000 (Neitsch et al., 2001) für ackerbauliche Flächen genutzt wird, kann auf die dort veröffentlichte Datenbasis zurückgegriffen werden. Erwartungsgemäß können durch diesen Parametersatz jedoch nicht alle Fruchtarten, die in Thüringen angebaut werden, abgedeckt werden. So liegen z.B. keine Daten für Raps und Ackerbohnen vor. Auch bei den anderen Fruchtarten werden sortenbedingte Unterschiede zu den gegebenen Pflanzenparametern erwartet.

Das Teilmodell zur Simulation der Bodenstickstoff-/Kohlenstoffdynamik benötigt neben den bodenchemischen Eingangsdaten Corg, Norg und pH-Wert, Angaben zu Düngungsmengen auch die Angabe der Umsatzkoeffizienten im Boden. Diese können zwar z.T. aus Literaturangaben abgeleitet werden, ihre Gültigkeit für die einzelnen Standorte muss jedoch überprüft werden.

Die Parameterbestimmung erfolgte anhand der Messreihen für den Zeitraum 1997 bis 2000, die Validierung erfolgte auf der Basis der vollständigen Messreihen, soweit sie im Berichtszeitraum zur Verfügung standen.

Für die Anpassung und Validierung des Pflanzenmodells standen neben Saat- und Ernteterminen und den geernteten Erträgen (Gesamtmenge, Trockenmasse und Stickstoff, unterteilt in Korn und Stroh), nur Abschätzungen zur Bestandeshöhe, Bestandestiefe und Durchwurzelungstiefe zur Verfügung. Kohlenstoffanalysen wurden nicht durchgeführt. Es lagen ebenfalls keine Messwerte zum Blattflächenindex oder der Gesamtbiomasse vor. Demzufolge musste für die Anpassung des Modells auf Literaturwerte für vergleichbare Bedingungen zurückgegriffen werden. Insbesondere wurden hierfür die Bayerischen Messreihen aus Wang (1997) genutzt. Im Zuge der Bestandesmodellierung zeigte sich, dass neben den Parametern „maximale Wurzeltiefe“ und „maximale Bestandeshöhe“ folgende, in Tabelle 5 enthaltene, Parameter angepasst werden mussten.

Tabelle 5: Angepasste Pflanzenparameter für die Lysimeterstandorte A3 und A4

Fruchtart	BIO_E: radiation-use efficiency		HVSTI: potential harvest index for the plant at maturity		BLAI: maximum potential leaf area index		PHU: total number of heat units to reach maturity
	SWAT	A3/A4	SWAT	A3/A4	SWAT	A3/A4	
Winterweizen	30.0	25.0	0.40	0.55	4	6.6	2200
Sommerweizen	35.0	30.0	0.42	0.46	4	6.5	2000
Sommergerste	35.0	20.0	0.54	0.60	4	6	1500
Winterraps	-	25.0	-	0.40	-	6	2200
Ackerbohne	-	20.0	-	0.55	-	6.5	1800

Eigentlich müssten diese Parameter anhand von phänologischen Messreihen für die einzelnen Sorten abgeleitet werden. Da diese jedoch nicht zur Verfügung standen, erfolgte die Parametrisierung durch die parallele Auswertung von Bodenfeuchtwerten, Sickerwassermengen und Bestandesentwicklungsdaten bei Vergleich mit Literaturwerten zur Bestandes- und Ertragsentwicklung insbesondere von Weizen und Gerste.

Die Ableitung der Umsatzkoeffizienten für die Beschreibung der Bodenstickstoff-/Kohlenstoffdynamik gestaltete sich wesentlich schwieriger. Da Inkubationsversuche zur Bestimmung dieser Umsetzungsparameter für die untersuchten Standorte nicht zur Verfügung stehen, musste auf Literaturwerte zurückgegriffen werden. Franko (1990) gibt mittlere Umsatzkoeffizienten für die Wurzel- und Ernterückstände einiger Fruchtarten ohne Unterscheidung zwischen Wurzelresten und oberirdischen Ernterückständen an. Außerdem wurde auf die Arbeiten von Kartschall (1986) und Klöcking (1991) zu dieser Thematik zurückgegriffen.

Bei Nutzung dieser Parameter konnte jedoch keine zufriedenstellende Übereinstimmung zwischen Simulationsergebnissen und Messwerten zum Boden-C/N-Haushalt erreicht werden. Da andererseits die Datenlage nicht für eine exakte Parametrisierung ausreichte, wurde bei der standortbezogenen Variation der Umsatzkoeffizienten darauf geachtet, dass ein annähernd stabiles Gleichgewicht zwischen Umsatz der in den Boden eingebrachten organischen Primärsubstanz, Humusneubildung und Humusabbau auf beiden untersuchten Standorten gewahrt bleibt. Die abgeschätzten Faktoren zur Abschätzung des Kohlen- und Stickstoff-Einträge

durch die Ernte- und Wurzelreste sowie deren Umsatzkoeffizienten für die Mineralisierung ($k_{\text{opm}} [\text{d}^{-1}]$), die Humusneubildung ($k_{\text{syn}} [\text{d}^{-1}]$) sind in Tabelle 6 enthalten.

Tabelle 6: Parameter zum Umsatz der organischen Primärschubstanz der untersuchten Fruchtarten

Fruchtart	$k_{\text{opm}}(\text{oberird})$	$k_{\text{syn}}(\text{oberird})$	CN(oberird)	N(Stroh) [%]	$k_{\text{opm}}(\text{Wurzel})$	$k_{\text{syn}}(\text{Wurzel})$
Getreide	0.01	0.6	80	0.5	0.15	0.45
Raps	0.015	0.55	60	0.6	0.05	0.35
Ackerbohne	0.015	0.55	27	1	0.15	0.25

Franko (1990) gibt für Humus mit einem mittleren C/N-Verhältnis von 8,5 eine standortunabhängige Mineralisierungskonstante von $0,0056 \text{ d}^{-1}$ unter optimalen Bedingungen an. Bei Nutzung dieses Wertes wurde auf beiden Standorten ein rascher Abbau der Humusvorräte simuliert, so dass niedrigere Werte angesetzt werden mussten, wie sie Tabelle 7 enthält.

Tabelle 7: Humusmineralisierungskoeffizient k_{hum} und Nitrifizierungskoeffizient k_{nit}

Standort	$k_{\text{hum}} [\text{d}^{-1}]$	$k_{\text{nit}} [\text{d}^{-1}]$
Vega	0.0008	0.1
Rendzina	0.0005	0.06

2 Modellvalidierung anhand der Lysimeteruntersuchungen

2.1 Bodenwasserhaushalt

Die Modellierung der Bodenwasserdynamik erfolgt mit einem Mehrschicht-Kapazitätsmodell nach Koitzsch (1977) und Glugla (1969), welches die Bodenwasserdynamik mittels abgeleiteter bodenspezifischer Kennwerte wie Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt zur Charakterisierung der Wasserspeicherung unter bestimmten Spannungsverhältnissen beschreibt. Das Originalmodell wurde jedoch insbesondere hinsichtlich der Terme zur Abbildung der Verdunstungsintensität überarbeitet, da im Rahmen des PSCN-Moduls diese durch vegetations-spezifische Pflanzenmodelle berechnet bzw. beeinflusst werden. Außerdem wurde der Ansatz um einen Term zur Beschreibung der hypodermischen Abflussbildung erweitert.

Dem Modell liegt die Annahme zugrunde, dass es erst nach Überschreiten der Feldkapazität zu einem Abfluss (vertikal und horizontal) aus der betrachteten Bodenschicht kommt. Anstelle der Kenntnis der hydraulischen Eigenschaften des Bodens wird nur noch der von der Bodenart abhängige Leitfähigkeitsparameter benötigt.

Neben den Wasserhaushaltsgrößen Verdunstung und Sickerwasserdynamik wurde der Bodenwassergehalt in unterschiedlicher Bodentiefe simuliert und mit den Messwerten verglichen. Da jedoch Sickerwassermengen und die Bodenwassergehalt nicht an einem Messort, sondern einerseits an den Lysimetern und andererseits an den Parzellen bestimmt wurden, kann es zu Diskrepanzen zwischen den einzelnen Messgrößen kommen.

Tabelle 8: Vergleich der Jahressummen der beobachteten und simulierten Wasserhaushaltsgrößen Niederschlag (Nied), Verdunstung (AET), Transpirationsdefizit (Defizit), Sickerwasser aus der Wurzelzone (Siwa) sowie der Nitratfracht mit dem Sickerwasser

Hydrol. Jahr	Nied [mm]	AET [mm]		Defizit [mm]		Nied-AET [mm]	Siwa A4 [mm]		N-Fracht A4 [kg/ha]	
		A3	A4	A3	A4		Modell	Messung	Modell	Messung
1997	506	545	443	0	95	63	87	-	21	-
1998	591	492	427	37	42	164	35	39	11	14
1999	557	580	537	0	93	20	188	110	61	81
2000	553	538	485	13	91	68	35	26	14	12
2001	499	579	458	61	119	41	38	48	17	17
2002	568	541	444	0	74	124	85	97	41	39

Während des Beobachtungszeitraumes schwankt die Jahresniederschlagsmenge um bis zu 100 mm, was zu großen Unterschieden in der jährlichen Wasserbilanz führt. Obwohl auf dem grundwassernahe Auenstandort A3 in dem sehr trockenen Jahr 2001 noch fast genauso viel wie in den mittleren bzw. feuchten Jahren verdunstet, kommt es zu ausgeprägtem Trockenstress für die Pflanzen, da die Grundwassernachlieferung aus den Speisungsgebieten zurückgeht. Auf dem Rendzinastandort sind die Pflanzen jährlich Trockenstressperioden unterworfen, was zu deutlichen Ertragseinbußen im Vergleich zum Auenstandort führt.

Vergleicht man die einzelnen Größen für die unterschiedlichen Jahre, so wird deutlich, dass einfache Bilanzierungen auf der Basis des Jahresniederschlages verfälschte Aussagen liefern. So kann Trockenstress auch in niederschlagsreichen Jahren bei ungünstiger Niederschlagsverteilung auftreten. Andererseits würde sich aus der Differenz zwischen Niederschlag und Verdunstung für das Jahr 1998 eine hohe Sickerwassermenge ergeben, was sowohl durch die Messungen als auch das Modell widerlegt wird.

Insgesamt stimmen die Simulationsergebnisse sehr gut mit den Beobachtungen überein, mit Ausnahme der zu hoch berechneten Sickerwassermenge und gleichzeitig zu gering kalkulierten Stickstofffracht im hydrologischen Jahr 1999 (1.11.1998-30.10.1999). Die Ursachen hierfür müssen in weiterführenden Untersuchungen aufgedeckt werden. Insgesamt kann jedoch die Dynamik der Sickerwasserbildung durch das Modell recht gut wiedergegeben werden, wie Abbildung 2 verdeutlicht. Bedingt durch den verwendeten Kapazitätsansatz, kommt es zu einem verzögerten, dann aber intensiveren Beginn der Sickerwasserbildung. Hier werden auch die in der Tonmergelrendzina stark auftretenden Makroporen wie z.B. Schrumpfrisse einen Beitrag zum beobachteten schnelleren Beginn des Sickerwasserdurchbruchs beitragen, was jedoch durch das Modell noch nicht wiedergegeben werden kann, Da die Abbildung des Makroporenflusses in einem deterministischen Einzugsgebietsmodell, das auch auf Standortebene gültig sein soll, äußerst schwierig ist, wurde bislang auf die Implementierung eines solchen Ansatzes verzichtet.

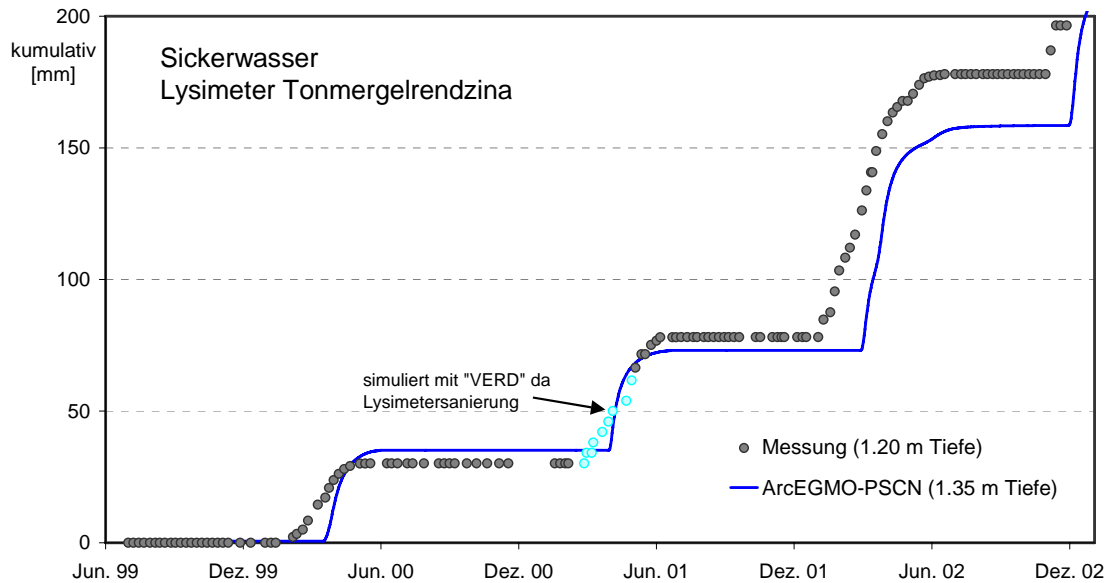


Abbildung 2: Sickerwasserspende des Lysimeters A4 im Zeitraum 7/1999- 12/2002

Beispielhaft für die Simulation der Bodenfeuchtedynamik zeigt Abbildung 3 die Gegenüberstellung von Simulations- und Messwerten der Bodenfeuchte in den Schichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60 – 90 cm der Tonmergelrendzina. Die Anpassung für den Vegastandort ist ähnlich, so dass hier auf eine grafische Darstellung verzichtet wird. Leider liegen die Messungen nicht kontinuierlich für den Jahresverlauf vor, so dass die Güte der genutzten Feldkapazitätswerte nicht überprüft werden konnte. Auffällig ist, dass alle Schichten in der Vegetationsperiode bis weit unter den angegebenen Äquivalentwelkepunkt (PWP = Bodenfeuchte bei pF 4.2) austrocknen. Außerdem wird eine zu schnelle Ausschöpfung des pflanzenverfügbaren Schichtwasservolumens durch die Pflanze zu Beginn der Vegetationszeit simuliert. Diese Schwäche des Pflanzenmodells macht sich auch bei der Simulation der Bodenstickstoffdynamik bemerkbar, was weiter unten diskutiert wird. Insgesamt liegen die simulierten Bodenfeuchtwerte jedoch im Bereich der Messwerte.

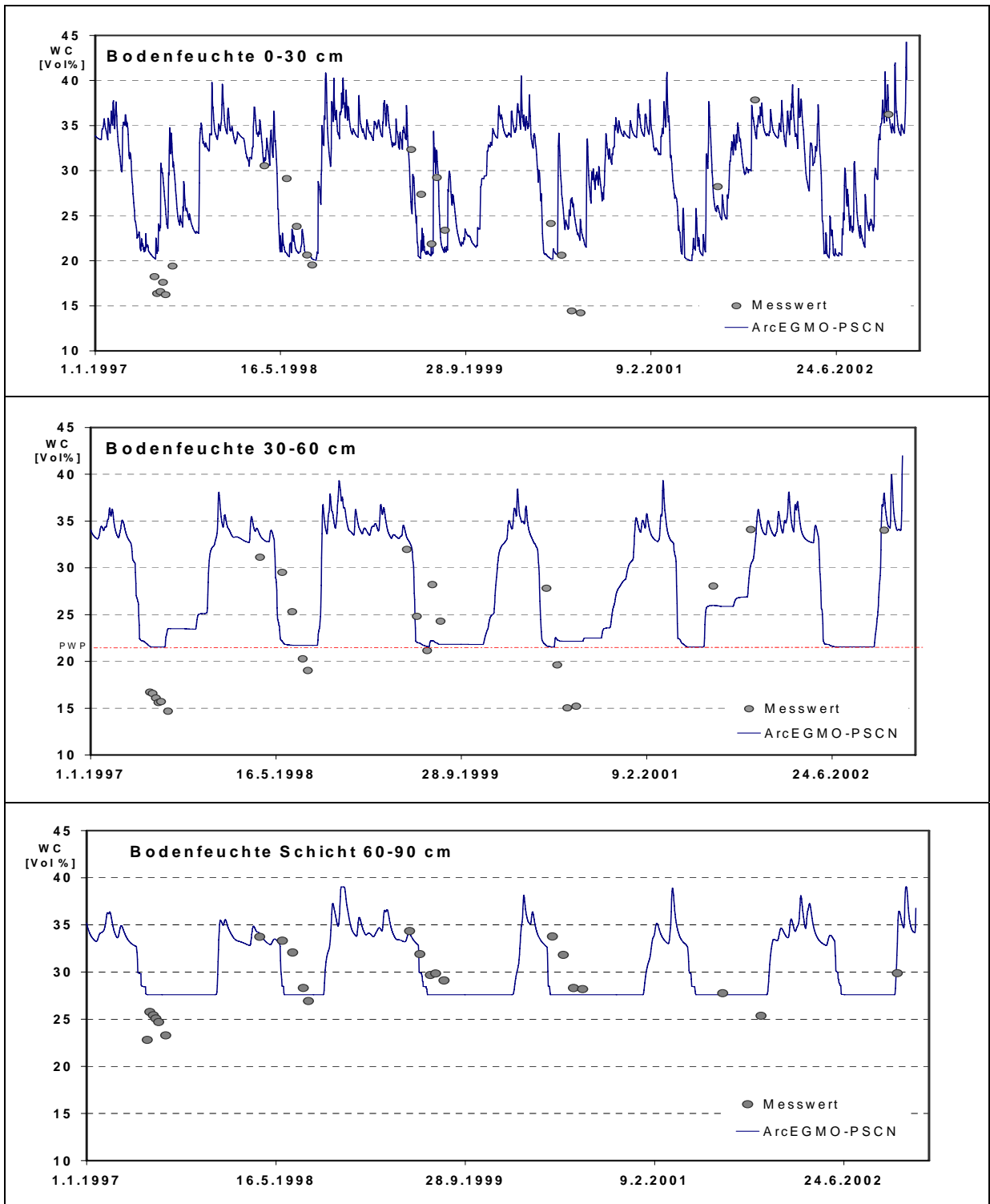


Abbildung 3: Vergleich zwischen gemessenen und simuliertem Bodenfeuchteverlauf in drei Bodenschichten der Tonmergelrendzina A4

2.2 Pflanzendynamik

Obwohl es sich bei dem implementierten Pflanzenmodell zur Simulation der Ertragsentwicklung auf landwirtschaftlichen Flächen um ein sehr einfaches Modell handelt, konnten die Erträge und die Stickstoffgehalte in der oberirdischen Biomasse recht gut wiedergegeben werden. Auf beiden Standorten liegen die simulierten Werte innerhalb des Fehlerbereiches der Messwerte. Deutlich wird das wesentlich höhere Ertragspotential des Auenstandortes widergespiegelt. Ausnahmen stellen der zu gering berechnete Ertrag des Sommerweizens auf der Vega (1999) und die Ertragsüberschätzung bei Winterraps 2001. Bei letzteren kam es zur Ertrags einbuße durch Pilzbefall des Rapsbestandes, der durch das Modell nicht wiedergegeben werden kann.

Tabelle 9: Simulierte und gemessene Erträge und N-Gehalte in den Ernterückständen

Jahr	Ort	Fruchtart	Ertrag [dt/ha]				Korn + Stroh [dt/ha]		N im Korn [kg/ha]		N im Stroh [kg/ha]		N _{root} [kg/ha]
			Mittel	Max	Min	Sim	Mittel	Sim	Mittel	Sim	Mittel	Sim	Sim
1997	A3	Winterweizen	85	96	72	86	155	148	180	176	81	41	55
1997	A4	Winterweizen	59	73	46	66	104	120	14.8	144	31	33	45
1998	A4	Sommergerste	45	61	37	43	77	74	103	78	21	18	24
1998	A3	Ackerbohne	32	44	20	42	57	79	168	175	39	37	53
1999	A4	Winterraps	41	60	23	35	116	108	145	112	54	44	48
1999	A3	Sommerweizen	70	76	65	58	153	152	164.8	122	38	42	41
2000	A4	Winterweizen	47	61	34	63	119	119	134.7	142	43	33	44
2000	A3	Sommergerste	46	52	34	43	79	78	78.7	76	22	20	24
2001	A3	Winterraps	29	40	16	49	78	145	101.5	104	33	57	49
2001	A4	Winterweizen	64	80	34	60	132	120	166.7	142	38	34	45

Größere Probleme ergeben sich, wenn man das komplexe System Boden-Pflanze geschlossen betrachtet, insbesondere bezüglich der Kohlenstoff-/Stickstoffdynamik. Es zeigte sich, dass das Modell hoch sensitiv auf Veränderung einzelner Elemente dieses Systems reagiert. So beeinflusst das C/N-Verhältnis der Ernterückstände und der Gesamteintragsmenge den Umsatz des Bodenstickstoffs in hohem Maße. Im Gegensatz zu den Getreidearten liegen wesentlich weniger Untersuchungen zu Ackerbohnen in dieser Beziehung vor. Die noch ungenügend genau abgeschätzten Parameter dieser Fruchtart führten scheinbar zu der starken Unterschätzung der Bodenstickstoffgehalte im Boden in der darauffolgenden Periode (vgl. Abbildung 4) und dem demzufolge geringeren Ertrag der Folgefrucht.

Probleme bereitet außerdem das Pflanzen-Entzugsmodell sowohl hinsichtlich der Bodenwasser- als auch der Bodenstickstoffaufnahme. Dieses ist zu einfach, um den komplexen Anpassungsreaktionen der einzelnen Bestände auf die konkreten Bedingungen wiederzugeben, wie auch in dem Vergleich der Bodefeuchte- und Stickstoffsimulationsergebnissen mit den Messwerten zeigen (Abbildung 3-7). Insbesondere in diesem Bereich wird noch Entwicklungsbedarf bzgl. der Modellierung der landwirtschaftlichen Fruchtarten gesehen, wozu jedoch eine umfangreichere Messdatenbasis zur Verfügung stehen muss.

Der Vergleich von Bestandeshöhe und Wurzeltiefe mit den beobachteten Werten ergab ebenfalls eine gute Übereinstimmung mit der Ausnahme, dass durch das Modell ein zu schneller

Höhenwuchs im Herbst bei den Wintergetreidesorten simuliert wird. Da die Bestandeshöhe jedoch innerhalb des Modells nur von beiläufiger Bedeutung ist, und keine anderen Prozesse beeinflusst, wurde auf eine weitere Anpassung des Modells verzichtet.

2.3 Kohlenstoff-/Stickstoffhaushalt

Die Validierung des Modells erfolgte anhand der gemessenen Bodenstickstoffgehalte (Nitrat und Ammonium) in den Schichten 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm auf den Dauerbeobachtungsflächen beider Standorte. Außerdem wurden die Messreihen zur Stickstoffkonzentration im Sickerwasser (Nitrat, Nitrit, Ammonium) für die Tonmergelrendzina (A4) und die in Tabelle 4 angegebenen Stickstoffgehalte im Korn und im Stroh genutzt. Kohlenstoffmessungen liegen leider nicht vor.

Wie im vorigen Kapitel bereits angesprochen, ist die Modellierung des Kohlenstoff-/Stickstoffkreislaufs im System Boden-Pflanze ein sehr komplexes Gebiet mit vielen unbekanntem Parametern und Einflussgrößen, die entweder durch umfangreiche Messungen bestimmt, oder so gut wie möglich anhand von Literaturangaben abgeschätzt werden müssen. Letzteres gestaltet sich jedoch schwierig, wie die folgenden Ergebnisse deutlich machen.

Obwohl die simulierten Stickstofffracht mit dem Sickerwasseraustrag aus der Wurzelzone und die Menge des in der Pflanzenbiomasse eingelagerten Stickstoffs recht gut durch das Modell wiedergegeben wurden, wie Tabelle 8 und Tabelle 9 verdeutlichen, ist die Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Nitrat- und Ammoniummengen im Boden noch nicht befriedigend. Leider liegen auch zu wenige Messwerte vor, um einschätzen zu können, ob das Modell die Umsatz- und Transportdynamik richtig wiedergibt. Die Größenordnung der gespeicherten Mengen konnte jedoch richtig berechnet werden, wie die folgenden Abbildungen veranschaulichen.

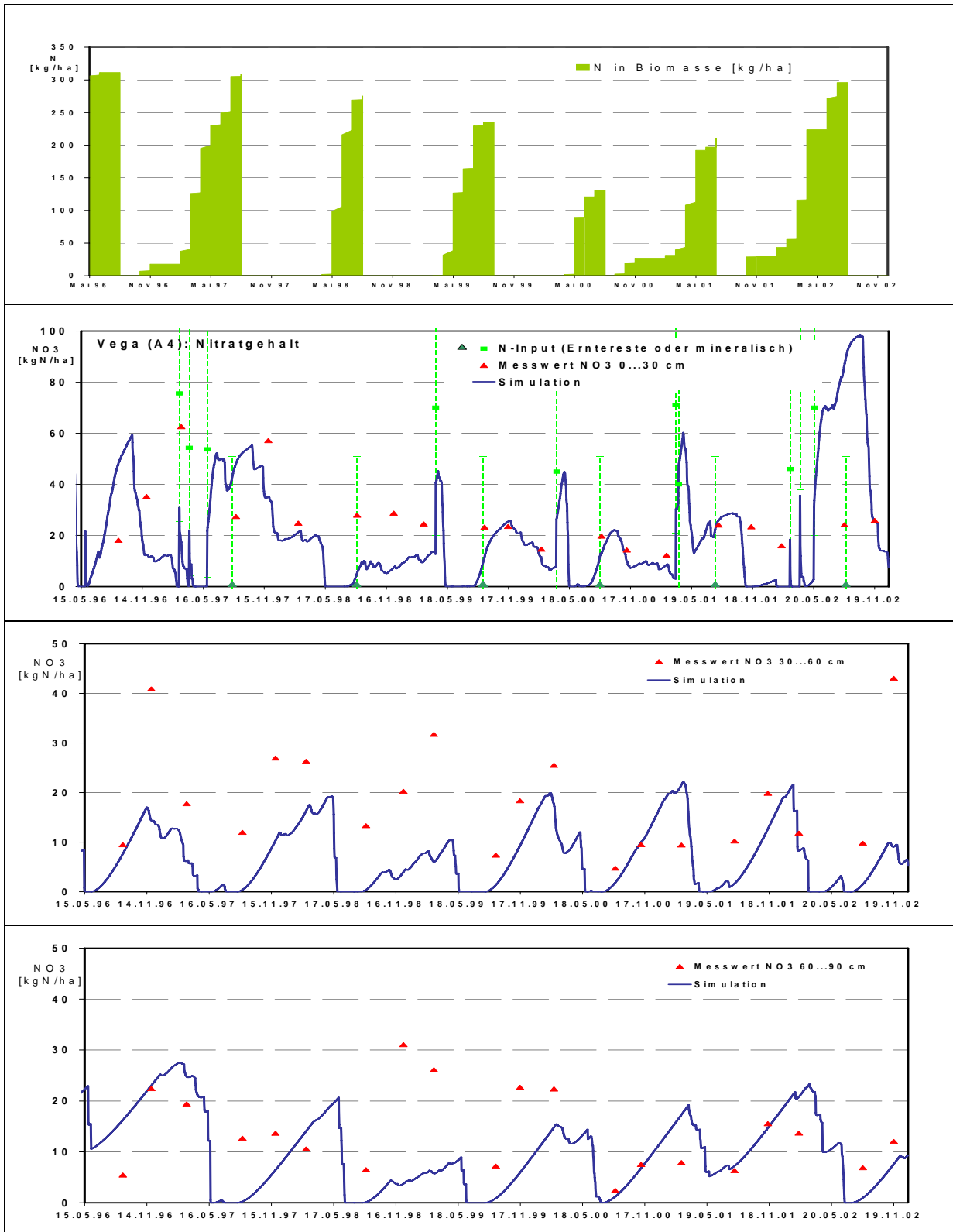


Abbildung 4: Stickstoffgehalte in der Biomasse sowie Nitratgehalte der drei beprobten Messschichten [kg-N/ha] auf der Vega (A3)

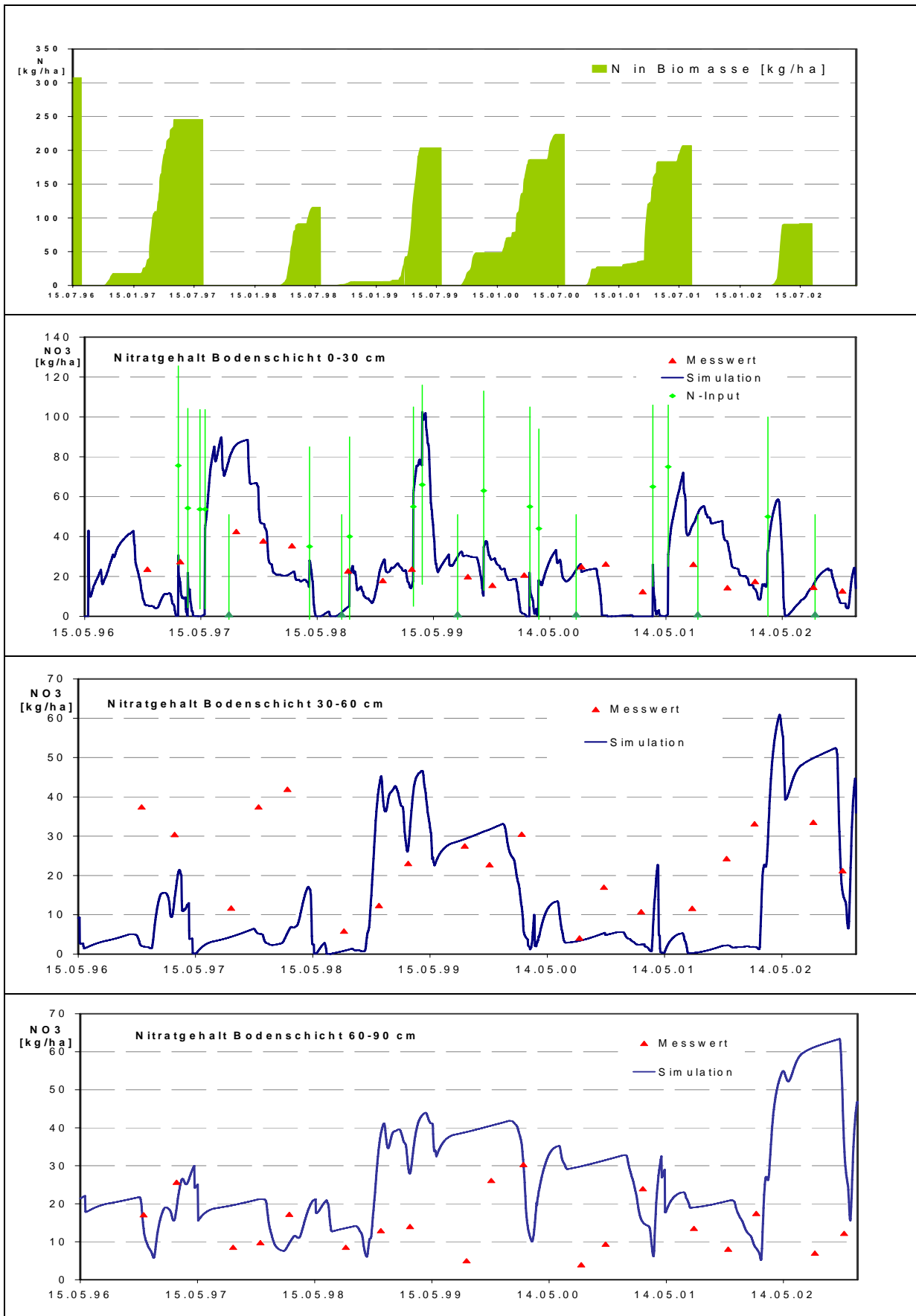


Abbildung 5: Stickstoffgehalte in der Biomasse sowie Nitratgehalte der drei beprobten Messschichten [kg-N/ha] auf der Tonmergelrendzina (A4)

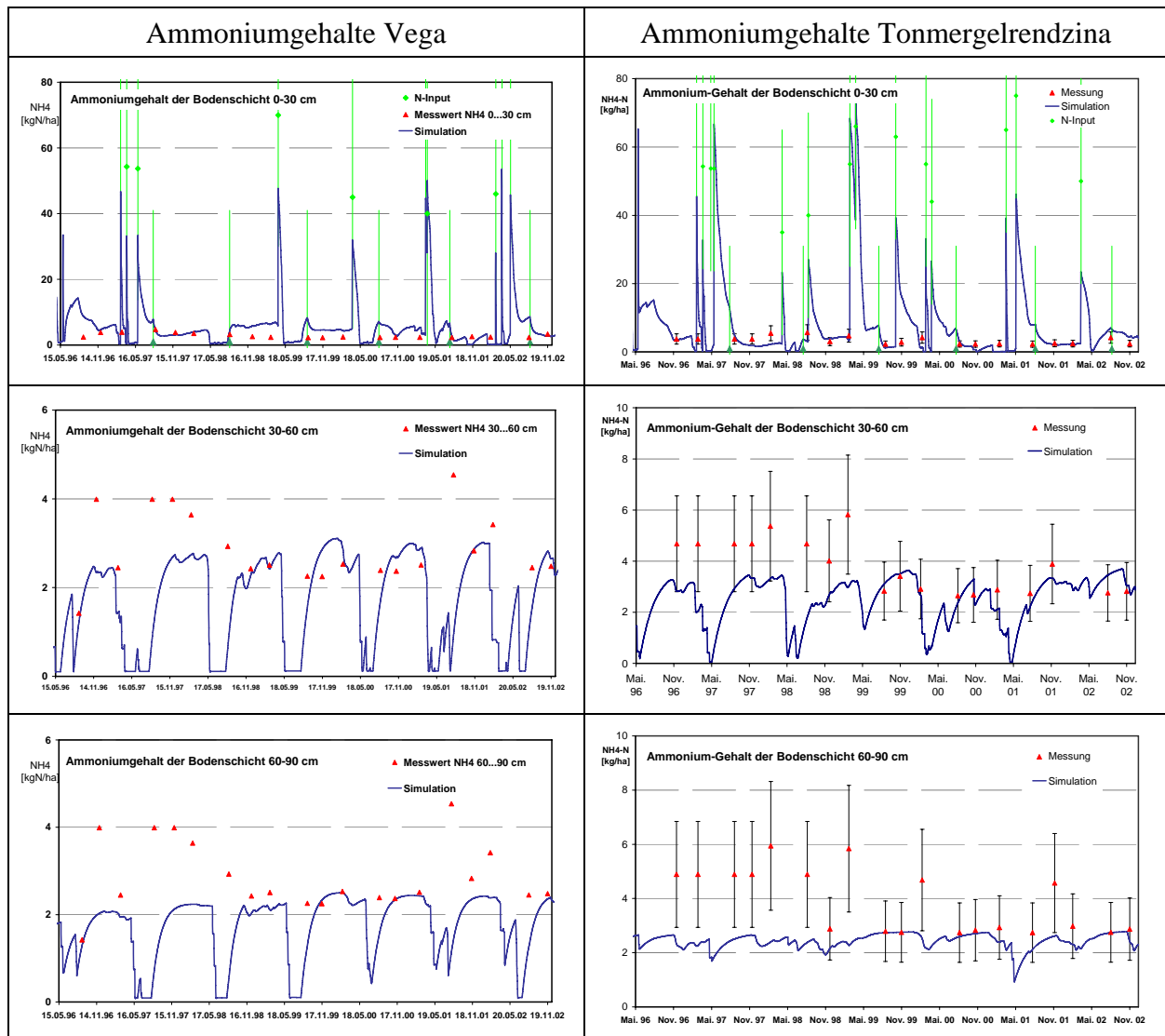


Abbildung 6: Ammoniumgehalte der drei beprobten Messschichten [kg-N/ha] auf beiden Standorten

3 Literatur

- Franko, U., 1990.** C- und N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden. Dissertation B Thesis, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin.
- Glugla, G., 1969.** Berechnungsverfahren zur Ermittlung des aktuellen Wassergehaltes und Gravitationswasserabflusses im Boden. Albrecht-Thaer-Archiv, 13, 371-376.
- Kartschall, T., 1986.** N-Dynamik beim Umsatz organischer Substanz im Boden. Dissertation, Akademie der Landwirtschaftswissenschaften der DDR, Berlin.
- Klöcking, B., 1991.** Ein Modell zur Beschreibung des Wasser-, Wärme- und Stickstoffhaushaltes im Boden unter besonderer Berücksichtigung des Winterzeitraumes. Dissertation, TU Dresden, 135 S.
- Koitzsch, R., 1977.** Schätzung der Bodenfeuchte aus meteorologischen Daten, Boden- und Pflanzenparametern mit einem Mehrschichtenmodell. Zeitschrift für Meteorologie, 27/5, 302-306.
- Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J.R. 2001.** Soil and water assesment tool – Theoretical documentation Version 2000 (<http://www.brc.tamus.edu/swat/>). United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Temple.
- Wang, E., 1997.** Development of a Generic Process-Oriented Model for Simulation of Crop Growth, Diss., Herbert Utz Verlag Wissenschaft, 195 S.