ADDISCOTT

Autoren: Addiscott et al.

1 Überblick

Dieses Modell zur Simulation der Stickstoffdynamik soll im ackerbaulichen Management Anwendung finden. An dem Modell wird seit längerer Zeit gearbeitet (vgl. Literaturübersicht), so daß in den jeweiligen Veröffentlichungen unterschiedliche Ansätze zur Simulation der speziellen Prozesse beschrieben werden. Im einzelnen werden die Mineralisierung, die Nitrifizierung, die Verlagerung des Nitrats und die Aufnahme des mineralischen Bodenstickstoffs durch die Pflanzen berücksichtigt (Abb. 1).

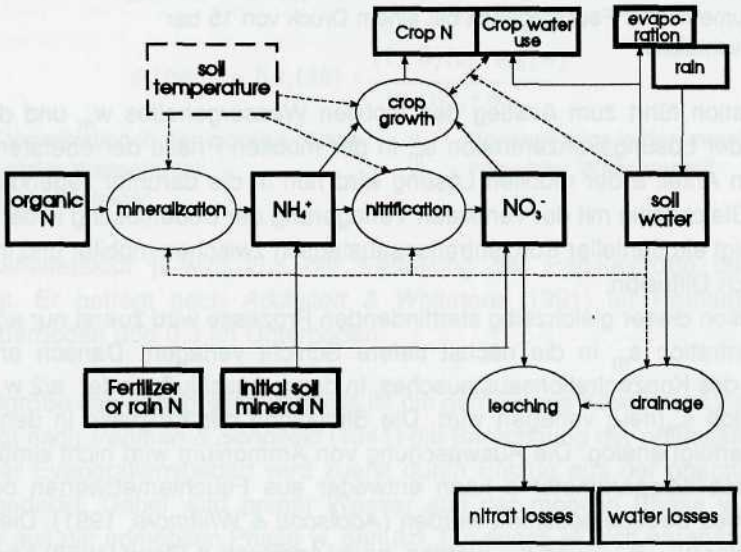

Abb. 1: Modellschema, die N-Flüsse sind durch die durchgezogenen und die Informationsflüsse durch die unterbrochenen Linien dargestellt.

Das Modell unterteilt den Boden in Schichten (d=50 mm). Die Simulation der einzelnen Prozesse in diesen Kompartimenten erfolgt nach folgender Hierarchie:

- Verlagerung des Nitrats
- Mineralisierung und Nitrifizierung
- Pflanzenwachstum und Stickstoffaufnahme
- Evaporation

2 Bodenwasser- und Transportmodell (SLIM)

Die Simulation des Lösungstransportes erfolgt auf der Grundlage eines sogenannten "Multi-Phasen-Modells". Dabei wird die Bodenlösung der betrachteten Bodenschicht in eine mobile und eine immobile Phase unterteilt. In allen Schichten gilt für den mobilen Wasseranteil $w_m \geq 0$.
Für die oberste Schicht gilt außerdem:

$$0 \leq w_m \leq d(\theta_{sat} - \theta_{0.33}) \quad (1)$$

Der immobile Wasseranteil w_r liegt für alle Schichten im folgenden Bereich:

$$0 \leq w_r \leq d(\theta_{0.33} - 1/2\ \theta_{15}) \quad (2)$$

θ_{sat} volumetrischer Feuchtegehalt bei Sättigung
$\theta_{0.33}$ volumetrischer Feuchtegehalt bei einem Druck von 0.33 bar
θ_{15} volumetrischer Feuchtegehalt bei einem Druck von 15 bar
d Schichtdicke

Eine Infiltration führt zum Anstieg des mobilen Wassergehaltes w_m und damit zur Änderung der Lösungskonzentration s_m in der mobilen Phase der obersten Bodenschicht. Ein Anteil a der mobilen Lösung wird nun in die darunter liegende Schicht verlagert. Gleichzeitig mit der vertikalen Verlagerung der Bodenlösung in der mobilen Phase erfolgt ein partieller Konzentrationsaustausch zwischen mobiler und immobiler Phase durch Diffusion.
Zur Simulation dieser gleichzeitig stattfindenden Prozesse wird zuerst nur a/2 w_m mit der Konzentration s_m in die nächst tiefere Schicht verlagert. Danach erfolgt die Simulation des Konzentrationsaustausches, in deren Anschluß wieder a/2 w_m mit der Konzentration s_m(neu) verlagert wird. Die Simulation der Prozesse in den tieferen Schichten erfolgt analog. Die Auswaschung von Ammonium wird nicht simuliert.
Der Permeabilitätsparameter a kann entweder aus Feuchtemeßwerten oder dem Tongehalt des Bodens bestimmt werden (*Addiscott & Whitmore*, 1991). Die Kapazitätsparameter θ_{sat}, $\theta_{0.33}$ und θ_{15} werden nach *Addiscott & Bland* (1988) bzw. *Hall et al.* (1977) kalkuliert.

Überschreitet die tägliche Niederschlagsmenge die maximale Infiltrationsrate w_{crit} des Bodens, so fließt dieses Überschußwasser durch Grobporen in den Unterboden, ohne Nährstoffe zu transportieren (nach *Addiscott & Whitmore*, 1987). Im Modell wird für die Böden in Rothamsted mit einem Wert w_{crit}= 20 mm/d gerechnet.[1]

[1] In der durch *Addiscott & Whitmore* (1991) beschriebenen Modellversion wird ein Grobporenfluß ohne Nährstofftransport simuliert, wenn die oberste Bodenschicht die Wassersättigung erreicht (Gl.1).

Die Wasserbewegung und der Konzentrationsaustausch zwischen mobiler und immobiler Phase innerhalb einer Schicht kann auf drei Wegen simuliert werden:

a) Es erfolgt ein vollständiger Konzentrationsangleich beider Phasen im betrachteten Zeischritt.
b) Bei ausreichenden Kenntnissen über die Bodengeometrie kann die Diffusion explizit simuliert werden (z. B. *Rao et al.*, 1982 und *Addiscott*, 1982).
c) Es erfolgt nur ein teilweiser Angleich der Konzentrationen im Zeitschritt. Dieser wird durch den Rückhaltefaktor β gesteuert.

In die aktuelle Modellversion von SLIM ist die dritte Methode integriert. (Vgl. *Addiscott & Bland*, 1988; *Addiscott & Whitmore*, 1991.) Die Lösungskonzentrationen nach dem Ausgleich werden wie folgt berechnet:

$$s_m(neu) = \beta s_m(alt) + \frac{(1-\beta)(s_r+s_m)w_m}{w_m+w_r} \quad (3)$$

$$s_r(neu) = \beta s_r(alt) + \frac{(1-\beta)(s_r+s_m)w_r}{w_m+w_r} \quad (4)$$

s_m	Konzentration in der mobilen Phase	s_r	Konzentration in der immobilen Phase
w_m	mobiler Wasseranteil	w_r	immobiler Wasseranteil
β	Rückhaltefaktor		

Der Rückhaltefaktor β wird aus der Verteilung der Partikelgröße des Bodens berechnet. Er beträgt nach *Addiscott & Whitmore* (1991) für Rothamsted etwa 0.1 im Oberboden und 0.3 im Unterboden.

Eingangsgröße des Evaporationsmodells ist die gemessene Kesselverdunstung. Daraus erfolgt nach *Penman & Schofield* (1941) die Berechnung der potentiellen Evaporation. Der Evaporationsbedarf wird zuerst durch Entzug aus der obersten Bodenschicht gedeckt. Dabei wird primär Wasser aus der mobilen Phase w_m und nur sekundär aus der immobilen Phase w_r genutzt. Ein eventuell sich ergebendes Defizit wird durch Entzug aus der darunter liegenden bzw. den nächstfolgenden Schichten gedeckt (CALF-Modell, *Nicholls et al.*, 1982). Dieses empirische System ergibt ein Feuchteprofil, in dem das Defizit annähernd exponentiell mit der Tiefe abnimmt.
Es wird angenommen, daß der mit der Defizitaufteilung verbundene Lösungstransport nach oben durch die feineren Bodenporen mit dem immobilen Wasser stattfindet.

3 Mineralisierung/Nitrifizierung

3.1 Nettomineralisierung des organisch gebundenen Stickstoffs

Im Modell wird die Nettomineralisierung eines allgemeinen organischen Pools ohne besondere Berücksichtigung der Immobilisierung beschrieben.
Der mineralisierte Stickstoff N_t in der Zeit t berechnet sich nach:

$$N_t = k_{20}\, RED(\theta, T)\, t \qquad (5)$$

k_{20}	Ratenkonstante bei 20 °C	RED(θ,T)	Responsfunktion
θ	volumetrische Feuchte	T	Bodentemperatur
t	Zeit		

Die Temperatur- und Feuchteresponsfunktion RED(θ,T) wurde aus Messungen (*Addiscott*, 1983) bestimmt.

$$RED(\theta, T) = r(\theta)\exp[-B(T^{-1} - 293^{-1})] \qquad (6)$$

$$r(\theta) = \begin{cases} \dfrac{\theta}{\theta_{0.33}} & \text{für } \theta < \theta_{0.33} \\ 1 & \text{für } \theta \geq \theta_{0.33} \end{cases} \qquad (7)$$

B	Konstante (7000 K)
T	Bodentemperatur
$\theta_{0.33}$	volumetrischer Feuchtegehalt bei 0.33 bar

Neben der Abhängigkeit von Bodentemperatur und -feuchte wird eine Abnahme der Mineralisierungsrate mit der Tiefe simuliert (Gl. (8)).

$$k_{20,i} = k_{20,1}\exp(-Z\,i) \qquad (8)$$

i	Schichtnummer
$k_{20,1}$	Mineralisationsrate bei 20 °C in der obersten Bodenschicht
$k_{20,i}$	Mineralisationsrate bei 20 °C in der Bodenschicht i
Z	Konstante (Z = 0.5/Schicht für 50 mm Schichten)

3.2 Nitrifizierung

Bei Ammoniumdüngung muß die Nitrifizierung explizit simuliert werden. Sie wird durch eine Kinetik 0. Ordnung unter Berücksichtigung des Ammoniumanfangsgehaltes beschrieben. Der Einfluß von Bodenfeuchte und -temperatur wird wie bei der Mineralisierung durch Multiplikation des Reaktionskoeffizienten k_n mit der Reduktionsfunktion RED(θ, T) simuliert.

Die Ratenkonstante für die Nitrifizierung berechnet sich wie folgt:

$$k_n = \alpha(AM_0)^{\gamma} - \beta(AM_0)^{\gamma+1/2} \quad (9)$$

α, β, γ Konstanten
AM_0 Ammoniumanfangsgehalt
k_n Ratenkonstante der Nitrifizierung

Bei der Modellierung der Nitrifizierung unter Feldbedingungen wird ein bodenspezifischer, nicht nitrifizierbarer Anteil des Ammoniums AM_{eq} berücksichtigt.

4 Pflanze

N-Aufnahme und Trockenmasseproduktion werden unabhängig voneinander berechnet, wenn nicht eine Unterbrechung des einen Prozesses ein Erliegen des anderen bewirkt. Beide werden durch die gleiche Formel beschrieben:

$$Y = [A_c^{-1/n} + \exp(-k_c x)]^{-n} \quad (10)$$

Y Stickstoffaufnahme oder Trockenmasseproduktion
A_c jeweiliger Maximalwert
k_c Ratenkonstante
x Temperatursumme
n Formfaktor (= 1.5)

Die Ratenkonstante k_c wird wie folgt bestimmt:

$$k_c = \frac{1}{x'}(\ln n + \frac{\ln A_c}{n}) \quad (11)$$

A_c Maximalwert von Y
n Formfaktor (= 1.5)
x´ Wert der Temperatursumme am Wendepunkt der Kurve (10)

Diese Beziehung kann zur Bestimmung von k_c für die einzelnen Pflanzenarten genutzt werden, da x´ zeitabhängig ist. Für die jeweiligen Prozesse wird dieser Zusammenhang wie folgt formuliert:

N-Aufnahme: $x'_N = a + b\, t_{sf}$ (12)
Pflanzenwachstum: $x'_d = a' + b'\, t_s$ (13)

x'_N Temperatursumme am Wendepunkt der Stickstoffaufnahmegleichung (10)
x'_d Temperatursumme am Wendepunkt der Gl. (10) für das Pflanzenwachstum
t_{sf} Zeit zwischen Aussaat und Auffüllung des Bodens bis auf Feldkapazität
t_s Aussaattermin (in Tagen nach dem 31.8.)
a,b,a´,b´ pflanzenspezifische Parameter (*Whitmore & Addiscott*, 1987b)

Nachdem durch das Modell die potentielle N-Aufnahme mittels Gl. (10) sowie die potentielle Wasseraufnahme in Abhängigkeit vom Bedeckungsgrad und der aktuellen Kesselverdunstung bestimmt wurde, erfolgt die Berechnung des in den einzelnen Schichten pflanzenverfügbaren Wassers bzw. Stickstoffs. Dieser Anteil pro Schicht i ergibt sich in Abhängigkeit von der Durchwurzelung des Bodens aus:

$$F_i = P_i^u \exp\left((i-1)\frac{d}{d_{63}}\right) \tag{14}$$

F	Anteil des pflanzenverfügbaren Wassers bzw. Stickstoffs	d	Schichtdicke
		P	Langzeit-Durchwurzelungsfaktor Gl. (16)
d_{63}	Tiefe, die 63% der Wurzeln enthält (*Gerwitz & Page* 1974)	u	Kraftfaktor (=1)
		i	Schichtnummer

Eine direkte Modellierung der Wurzelentwicklung erfolgt nicht. Die Tiefe d_{63} wird in Abhängigkeit von der thermischen Zeit (vgl. *Barraclough & Leigh,* 1984) mittels Gl. (10) simuliert. Die dabei in Gl. (10) verwendeten Parameter A_r (maximale Durchwurzelungstiefe) und k_r (Ratenkonstante des Wurzelwachstums) wurden aus Daten von *Gregory et al.* (1978) ermittelt.

Im Modell wird davon ausgegangen, daß die Durchwurzelung des Bodens bis zu einer Tiefe 4 d_{63} erfolgt. Der Einfluß der nicht gleichmäßigen Wasser- und Stickstoffverteilung auf die Wurzelentwicklung wird durch einen Langzeit-Durchwurzelungsfaktor P berücksichtigt. Dieser Faktor wird aus dem aktuellen Durchwurzelungsfaktor p

$$p_i = \frac{q_i \theta_i}{\bar{q}\bar{\theta}} \tag{15}$$

wie folgt berechnet:

$$P_i(t_j) = \sqrt{p_i P_i(t_{j-1})} \tag{16}$$

p	Durchwurzelungsfaktor	$\bar{\theta}$	Profilmittelwerte des Feuchtegehaltes
q_i	Menge des mineralischen N in Schicht i	$\bar{q}$	Profilmittel des Stickstoffgehaltes
θ_i	volumetrische Feuchte in Schicht i	P	Langzeit-Durchwurzelungsfaktor
i	Schichtnummer	j	Zeitschrittnummer

Deckt der pflanzenverfügbare Stickstoff bzw. das pflanzenverfügbare Wasser den Pflanzenbedarf, so wird entsprechend des in den einzelnen Schichten verfügbaren Anteils entzogen. Kann der Bedarf nicht gedeckt werden, so kommt es zu einer Hemmung der N-Aufnahme und des Wachstums. Diese wird durch eine Reduktion der Temperatursumme im Modell realisiert. Die Anzahl der von der Temperatursumme x abzuziehenden Tage wird durch Umstellung von Gl. (10) und Differentiation von x nach Y ermittelt.

$$\frac{dx}{dY} = [n\, k_c\, Y^{(n+1)/n} (Y^{-1/n} - A_c^{-1/n})]^{-1} \qquad (17)$$

Y	kumulativer N-Bedarf (dY: Defizit)	A_c	Maximalwert der Stickstoffaufnahme
k_c	Ratenkonstante	n	Formfaktor (= 1.5)
x	Temperatursumme	dx	abzuziehende Tageszahl

Das Vorgehen bei einem Wasserdefizit ist identisch. Das größere Defizit (N oder Wasser) bestimmt die Wachstumshemmung für den jeweiligen Tag.

5 Modellüberprüfung

Die Validierung des Modells erfolgte mit Feldversuchsdaten aus Rothamsted, Woburn, Hexton, Billington und Maulden der Jahre 1980-1984 für Winterweizen.
Für die Standorte Rothamsted und Woburn wird die Modellanwendung für die Jahre 1970-84 von *Whitmore & Addiscott* (1986) beschrieben.
Weitere Modelltests erfolgten ebenfalls für diese Standorte und für niederländische Böden (*Addiscott et al.*, 1991). Das Modell wird seit 1985 in der Düngungsberatung in Ost-England eingesetzt (*Addiscott & Whitmore,* 1986).
Eine Modellanwendung für Zuckerrübenversuche auf sandigem Lehm wird von *Whitmore et al.* (1987) diskutiert.
Anwendungen des Verlagerungsmodells SLIM erfolgten außerdem durch *Vinten & Redman* (1990), *Addiscott & Darby* (1991) und *Lord & Bland* (1991).
Whitmore et al. (1991) stellen ein Simulationsmodell vor, das auf dem Verlagerungsmodell SLIM und dem unter Punkt 4 beschriebenen Pflanzenmodell beruht, jedoch ein wesentlich umfangreicheres N-Transformationsmodell enthält. Die Erprobung dieses Modells erfolgte ebenfalls mit dem niederländischen Datenmaterial von *Groot & Verberne* (1991). Eine Kombination aus dem hier beschriebenen Modell in der Version *Addiscott & Whitmore* (1987) und einem Langzeitmodell (*Jenkinson et al.*, 1987) sowie dessen Testergebnisse werden von *Whitmore & Parry* (1988) vorgestellt.

6 Ein- und Ausgabedaten

6.1 Eingabedaten

Witterungsdaten (täglich)

- Niederschlag
- Kesselverdunstung
- Bodentemperatur
- im Niederschlag gelöster Stickstoff

Bodendaten

- Bodenfeuchtecharakteristika: θ_{sat}, $\theta_{0.33}$, θ_{15}, a, β
- Bodentyp (bei Nutzung eines Unterprogramms zur Bestimmung der Bodenwassercharakteristika)
- Schichtdicke

N-Modell

- Anfangs-N_{min}-Gehalt
- Anfangsammoniumgehalt
- Mineralisierungsrate bei 20 °C in der obersten Bodenschicht
- Nitrifizierungsparameter α,β,γ (*Addiscott*, 1983)

Pflanzenmodell

- Maximum der N-Aufnahme und der Trockenmasseproduktion
- maximale Durchwurzelungstiefe
- Ratenkonstante der Durchwurzelung
- Pflanzenparameter a, b, a´,b´ (*Whitmore & Addiscott*, 1987b)
- Zeit zwischen Saat und Auffüllung des Bodens bis auf Feldkapazität
- Aussaattermin (in Tagen nach dem 31.8.)

6.2 Ausgabedaten

Die uns vorliegenden Veröffentlichungen über das Modell enthalten keine detaillierten Aussagen über die Ausgabedaten.

7 EDV-technische Umsetzung

Das Model ist in BASIC geschrieben und läuft auf einem PC.

8 Literatur

Addiscott, T.M. (1977): A simple model for leaching in structured soils. Journal of Soil Science, 28, 554-563.

Addiscott, T.M. (1981): Leaching of nitrate in structured soils. In: Frissel & van Veen (eds.), Simulation of nitrogen behaviour of soilplant systems, Pudoc, Centre for Agricultural Publishing and Documentation, Wageningen, 245-253.

Addiscott, T.M. (1982): Simulation diffusion within soil aggregates: a simple model for cubic and other regulary-shaped aggregates. Journal of Soil Science, 33, 37-45.

Addiscott, T.M. (1983): Kinetics and temperatur relationships of mineralization and nitrification in Rothamsted soils with differing histories. Journal of Soil Science, 34, 343-353.

Addiscott, T.M., N.J. Bailey, G.J. Bland and A.P. Whitmore (1991): Simulation of nitrogen in soil and winter wheat crops: a managment model that make the best use of limited informations. Fertilizer Research, 27, 305-312.

Addiscott, T.M. and G.J. Bland (1988): Nitrate leaching models and soil heterogenity. In: Jenkinson & Smith (eds.), Nitrogen efficiency in agricultural soils, 394-408.

Addiscott, T.M. and R.J. Darby (1991): Relating the nitrogen fertilizer needs of winter wheat crops to the soil´s mineral nitrogen. Influence of the downward movement of nitrate during winter and spring. Journal of Agricultural Science, Cambridge.

Addiscott,T.M., P.J. Heys and A.P. Whitmore (1986): Application of simple leaching models in heterogeneous soils. Geoderma, 38, 185-194.

Addiscott, T.M., V.H. Thomas and M.A. Janjua (1983): Measurement and simulation of anion diffusion in natural soil aggregates and clods. Journal of Soil Science, 34, 709-721.

Addiscott, T.M. and A.P. Whitmore (1986): Putting nitrogen predictions on the screen. Soil and Water, 14, 17-19.

Addiscott, T.M. and A.P. Whitmore (1987): Computer simulation of changes in soil mineral nitrogen and crop nitrogen during autumn, winter and spring. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 109, 141-157.

Addiscott, T.M. and A.P. Whitmore (1991): Simulation of solute leaching in soils of different permeabilities. Soil Use Management, 7 nr. 2, 94-102.

Barraclough, P.B. and R.A. Leigh (1984): The growth and activity of winter wheat roots in the field: the effect of sowing date and soil type on root growth of highyielding crops. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 103, 59-74.

Gerwitz, A. and E.R. Page (1974): An empirical mathematical model to describe plant root systems. Journal Applied Ecology, 11, 773-781.

Gregory, P.J., M. McGowan, P.V. Biscoe and B. Hunter (1978): Water relations of winter wheat. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 91, 91-102.

Groot, J.J.R. and E.L.J. Verberne (1991): Response of wheat to nitrogen fertilization, a data set to validate simulation models for nitrogen dynamics in crop and soil. Fertilizer Research, 27, 349-383.

Hall, D.G.M., M.J. Reeve, A.J. Thomasson and V.F. Wright (1977): Water retention, porosity and density of field soils. Soil Survey Technical Monograph, 9, Rothamsted Experimental Station, Harpenden.

Jenkinson, D.S., P.B.S. Hart, J.H. Rayner and L.C. Parry (1987): Modelling the turnover of organic matter in long term experiments at Rothamsted, INTERCOL Bulletin, 15.

Lord, E.I. and G.J. Bland (1991): Nitrate movement under bare soil in spring: measurement and simulation. Soil Use and Management, 7, 110-114.

Nicholls, P.H., A. Walker and R.J. Baker (1982): Measurement and simulation of the movement and degradation of atrazine and metribuzin in a fallow soil. Pesticid Science, 13, 484-494.

Penman, H.L. and R.K. Schofield (1941): Drainage and evaporation from fallow soil at Rothamsted. Journal of Agricultural Science, Cambridge, 31, 74-109.

Rao, P.S.C.,R.E. Jessup and T.M. Addiscott (1982): Experimental and mathematic aspects of diffusion in spherical and non-spherical aggregates. Soil Science, 133, 342-349.

Vinten, A.J.A. and M.H. Redman (1990): Calibration and validation of a model of non-interactive solute leaching in a clay-loam arable soil. Journal of Soil Science, 41, 199-214.

Whitmore, A.P. and T.M. Addiscott (1986): Computer simulation of winter leaching losses of nitrate from soils cropped with winter wheat. Soil Use and Management, 2 nr. 1, 26-30.

Whitmore, A.P. and T.M. Addiscott (1987a): Applications of computer modelling to predict mineral nitrogen in soil and nitrogen in crops. Soil Use and Management, 3, 26-30.

Whitmore, A.P. and T.M. Addiscott (1987b): A function for describing nitrogen uptake, dry matter production and rooting by wheat crops. Plant and Soil, 101, 51-60.

Whitmore, A.P., K.W. Coleman, N.J. Bradbury and T.M. Addiscott (1991): Simulation of nitrogen in soil and winter wheat crops: modelling nitrogen turnover through organic matter. Fertilizer Research, 27, 283-291.

Whitmore, A.P., G.F.J. Milford and M.J. Armstrong (1987): Evaluation of a nitrogen leaching/mineralization model for sugar beet. Plant and Soil, 101, 61-65.

Whitmore, A.P. and L.C. Parry (1988): Computer simulation of the behaviour of nitrogen in soil and crop in the Broadbalk continuous wheat experiment. In: Jenkinson, D.S. and K.A. Smith (eds.), Nitrogen efficiency in agricultural soils, 418-432.