

# EU-Rotate\_N – Ein europäisches Entscheidungshilfesystem zur Abschätzung ökologischer und ökonomischer Konsequenzen der N-Düngung in Fruchtfolgen des Feldgemüsebaus

Claas Nendel<sup>1</sup>, Clive Rahn<sup>2</sup>, Kefeng Zhang<sup>2</sup>, Robert Lillywhite<sup>2</sup>, Carlos Ramos<sup>3</sup>, Jordi Doltra<sup>3</sup>, José Miguel de Paz<sup>4</sup>, Hugh Riley<sup>5</sup>, Matthias Fink<sup>6</sup>, Kristian Thorup-Kristensen<sup>7</sup>, Filippo Piro<sup>8</sup>, Accursio Venezia<sup>8</sup>, Chris Firth<sup>9</sup>, Ulrich Schmutz<sup>9</sup>, Francis Rayns<sup>9</sup>, Klaus Strohmeier<sup>10</sup>.

<sup>1</sup> Institut für Landschaftssystemanalyse  
Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung (ZALF) e.V.  
Eberswalder Straße 84  
15374 Müncheberg

<sup>2</sup> Warwick HRI, University of Warwick, Wellesbourne, Warwick, England

<sup>3</sup> Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias, Moncada, Spanien

<sup>4</sup> Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Albal/Valencia, Spanien

<sup>5</sup> Apelsvoll Research Centre, Bioforsk, Nes på Hedmark, Norwegen

<sup>6</sup> Institut für Gemüse- und Zierpflanzenbau e.V., Großbeeren

<sup>7</sup> Research Centre Årslev, Danmarks JordbrugsForskning, Årslev, Dänemark

<sup>8</sup> Istituto sperimentale per l'orticoltura - CRA, Pontecagnano, Italien

<sup>9</sup> Henry Doubleday Research Association, Ryton Organic Gardens, Coventry, England

<sup>10</sup> BOLAP GmbH, Speyer  
claas.nendel@zalf.de

**Abstract:** Fruchtfolgesysteme im Feldgemüsebau sind komplex und beinhalten eine große Anzahl verschiedenster Kulturpflanzen und Bewirtschaftungsmöglichkeiten. Umweltfreundliche und wirtschaftliche Düngestrategien für Stickstoff (N) müssen langfristige Übergabeeffekte in den Fruchtfolgen im Zusammenhang mit den Entnahmeeigenschaften der einzelnen Kulturen und der witterungsbedingten Stoffdynamik im Boden berücksichtigen. Ein Simulationsmodell wurde entwickelt, um ökologische und ökonomische Konsequenzen von N-Düngungsstrategien in organischen und konventionellen Gemüsefruchtfolgen mit bis zu 70 in Europa angebauten Kulturarten zu beurteilen. Neue Prozessroutinen beschreiben u.a. die witterungsabhängige N-Freisetzung aus Humus und Ernterückständen, die zweidimensionale Wurzelentwicklung der Pflanzen in Reihenkulturen sowie die Effekte von Standraumwahl und sub- und supraoptimaler Düngergabe auf den Marktertrag. Das Modell bietet die Möglichkeit, relative Effekte alternativer Fruchtfolgen und Düngerschemata auf N-Auswaschung und Deckungsbeitrag des Unternehmens aufzuzeigen. Szenarien mit dem Modell zeigen, dass bereits die konsequente Einhaltung der Guten Landwirtschaftlichen Praxis einen erheblichen Beitrag zur Umweltverträglichkeit leistet, gleichzeitig aber auch noch Potential für weitere, nahezu kostenneutrale Verbesserung vorhanden ist.

## 1 Einleitung

Die Kulturarten des Feldgemüsebaus haben zwei Eigenschaften, die das ressourcensparende Anbauen erheblich erschweren: (i) viele von ihnen haben einen hohen N-Bedarf von bis zu  $310 \text{ kg N ha}^{-1}$  und (ii) die meisten werden weit vor der physiologischen Reife geerntet. Diese Eigenschaften sind dafür verantwortlich, dass trotz angepassten Düngemanagements nach der Ernte von Feldgemüse meist erhebliche Mengen N im Boden zurückbleiben [Go00]. Darüber hinaus ist aufgrund der hohen Wertschöpfung im Gemüsebau die Versuchung groß, mit einer Überschuss-Düngung Menge und Qualität des Ernteguts abzusichern. Die potentielle Umweltgefährdung durch N-Verluste aus der Produktion hat den Gemüsebau einmal mehr ins Rampenlicht der Diskussion gerückt.

Zur Unterstützung eines umweltfreundlichen N-Managements stehen zwei etablierte Entscheidungshilfesysteme zur Verfügung: N-Expert [FS93] basiert auf der erweiterten Nmin-Methode und enthält umfassend abgesicherte Faustwerte für den N-Entzug der Pflanzen in Abhängigkeit vom Wachstumsverlauf und die Rückführung von N über Ernterückstände. WELL\_N [Ra96] wurde aus dem in England entstandenen prozessorientierten Modell N\_ABLE [Gr01] weiterentwickelt und arbeitet auf der Basis von Einzelkulturen. Rahn et al. [Ra98] konnten jedoch zeigen, dass eine effektivere Düngung von Gemüse nur unter Einbeziehung von Vorfruchteffekten möglich ist. Aus diesem Grund wurde eine Neuentwicklung angegangen, die hier vorgestellt wird.

## 2 Modellbeschreibung

Das Modell EU-Rotate\_N beschreibt den Boden in 40 Schichten von 5 cm Dicke, welche während der Standzeit der Kultur in Abhängigkeit vom Standraum in 5 cm breite Zellen aufgespaltet werden. Nach der Ernte der zu simulierenden Kultur werden die Zellen wieder schichtweise zusammengefasst. Auf diese Weise können Wurzelverteilungsphänomene von Reihenkulturen und damit verbundene Muster der Wasser- und Nährstoffverteilung im Boden zweidimensional abgebildet werden [KT06]. Bodeninformation, die dem Modell vom Nutzer zugänglich gemacht wird, umfasst die Bodenart einschließlich Sättigungswassergehalt, Feldkapazität und Permanenter Welkepunkt, den Humusgehalt, pH, die Lagerungsdichte und das C/N-Verhältnis.

Die Simulation der Wasserbilanz erfolgt nach dem FAO-Ansatz von Allen et al. [A198] unter Verwendung einer Referenz-Evapotranspiration und einem spezifischen Kultur-Koeffizienten, der mit der Pflanzenentwicklung variiert. Stress durch Wasserdefizit wird abgebildet unter der Annahme, dass die Reduktion des Trockenmassezuwachses sich proportional zur Reduktion der Transpiration verhält. Infiltration und Transport im Boden erfolgt nach dem Kapazitätsansatz, kann jedoch durch einen Drainagekoeffizienten geregelt in seiner Geschwindigkeit werden.

Für die Simulation von Anbausystemen in Nordeuropa wird die Berechnung von Schneedecken sowie der Frost- und Taugrenzen im Boden mit ihren Konsequenzen für den Wasserhaushalt durchgeführt [Ri05].

Das Konzept der N-Nachlieferung aus organischer Substanz wurde vom DAISY-Modell [Ha90] übernommen, welches Algorithmen für die Populationsdynamik von Bodenmikroorganismen beinhaltet. Parameter des Abbauprozesses werden für organische Düngemittel sowie für Ernterückstände der angebauten Kulturen in Datenbanken vorgehalten. Die dynamische Simulation der N-Konzentration in der Pflanze als Resultat von Bedarf und Angebot ermöglicht die Anpassung der N-Gehalte der Ernterückstände in Abhängigkeit vom Versorgungsstatus der Pflanze und beeinflusst somit die Abbaucharakteristik der Erntereste. Gasförmige N-Verluste aus dem System werden in den Prozessen Denitrifikation, Ammoniak-Volatilisation bei Gülledüngung oder als Folge der Harnstoffhydrolyse unter Einbeziehung des Boden-pH realisiert.

Die N-Aufnahme der Pflanze ist bedarfsgesteuert und wird nur durch die maximale Aufnahmerate der Wurzel begrenzt. Der N-Bedarf der Pflanze errechnet sich durch die Verknüpfung eines ertragsgesteuerten Wachstumsmodells mit empirischen Kulturart-spezifischen Zusammenhängen zwischen N-Konzentration und Gesamttrockenmasse der Pflanze. Dabei ist auch die Abbildung von N-Übersorgung möglich, wie sie für viele Gemüsearten typisch ist. Bei N-Unterversorgung bzw. Wassermangel wird der Trockenmassezuwachs verringert, so dass das definierte Ertragsziel nicht mehr erreicht werden kann. Die Wachstumsperiode wird vom Benutzer anhand von Saat- bzw. Pflanz- und Erntedaten definiert. Dabei sind auch multiple Ernten vorgesehen, wie sie für Einlegegurken oder Brokkoli typisch sind. Bewässerung und N-Düngung können automatisiert werden. Definierte Schwellenwerte für Bodenwassergehalte oder Verdunstungsmengen lösen bei der Wahl des automatischen Verfahrens ein Bewässerungsereignis aus. Die Bestimmung des Nmin-Gehaltes im Boden und die anschließende Düngung auf der Grundlage der Berechnung Düngebedarfs anhand von hinterlegten Sollwerten laufen ebenso als automatisierter Prozess ab.

Die Simulation des Anbaus von Zwischenfrüchten als Deck- oder Ausgleichskultur erfolgt nach einem alternativen Ansatz. Hier werden vom Benutzer Produktivitätsklassen abgefragt, die das Wachstum der Zwischenfrüchte festlegen. Kulturspezifische N-Konzentrationen, Zuwachsraten sowie die Frostempfindlichkeit und ggf. die Rate der N-Fixierung aus der Luft sind in einer Datenbank hinterlegt. Frei definierbare Schnittmaßnahmen sowie die tägliche Rückführung natürlich abgestorbenen Pflanzenmaterials in die bodenbürtige organische Substanz bestimmen die zum Teil mehrjährige Dynamik der Zwischenkultur. Auf diese Weise sind auch längere Grünlandperioden sowie Untersaaten mit dem Modell simulierbar.

Als Modellergebnis sind vor allem die N-Verluste des betrachteten Systems in die Atmosphäre oder in das Grundwasser von Interesse. Darüber hinaus wird das Resultat der Pflanzenwachstumssimulation in Trockenmasse pro Hektar ausgegeben. Mit von der N-Versorgung abhängigen Umrechnungsfaktoren für Massenware oder mit einem Ansatz normalverteilter Populationen in Abhängigkeit von Standraum und Marktanforderungen für einzeln zu vermarktende Produkte kann dieses Resultat in vermarktbare Frischmasse überführt werden, die dann mit einem Preis versehen werden kann. Preise sowie Prozesskosten sind hinterlegt, so dass ernteabhängige und -unabhängige variable Kosten mit dem Erlös verrechnet werden können. Auf diese Weise kann das Betriebsergebnis der Produzenten in Relation zu ihrer Produktionsstrategie dargestellt werden.

Mit Hilfe statistischer Daten über die Gemüseproduktion in verschiedenen Regionen Europas ist es möglich, die Modellergebnisse für Aussagen über größere Skalenbereiche zu verwenden.

### 3 Das Modell in Anwendung

Das Modell EU-Rotate\_N ist in Zusammenarbeit mit Forschern aus England, Norwegen, Dänemark, Italien, Spanien und Deutschland im Rahmen des EU-Programms „Quality of Life“ (QLK5-2002-01100) entstanden. In ausgewählten Regionen dieser Länder ist das Modell dazu verwendet worden, typische Produktionsstrategien mit den derzeit gültigen Regeln der Guten Landwirtschaftlichen Praxis (GLP) zu vergleichen. Dabei legte das Modell erwartungsgemäß offen, dass sich die N-Verluste bei typischer Produktionsweise bei gleichbleibendem oder sogar steigendem Betriebsergebnis oftmals halbieren lassen, wenn die Vorgaben der GLP befolgt werden. Das größte Potenzial des Modells EU-Rotate\_N wird jedoch bei der Beratung des einzelnen Gemüseanbauers gesehen. Mit einfachen Szenarien können „Was passiert wenn“-Fragen veranschaulicht werden, die dem Gemüseanbauer wertvolle Zusammenhänge erschließen und so langfristig eine Verbesserung der Umweltverträglichkeit seines Betriebs aus eigenem Antrieb initiieren.

### Literaturverzeichnis

- [Al98] Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M.: Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper n° 56, FAO, Roma, 1998.
- [FS93] Fink M.; Scharpf, H.C.: N-expert – a decision support system for vegetable fertilization in the field. Acta Horticulturae 339, 1993; S. 67–74.
- [Go00] Goulding, K.: Nitrate leaching from arable and horticultural land. Soil Use and Management 16, 2000; S. 145-151.
- [Gr01] Greenwood, D.J.: Modelling of N-response of field vegetable crops under diverse conditions with N\_ABLE: a review. Journal of Plant Nutrition 24, 2000; S. 1799-1815.
- [Ha90] Hansen, S.; Jensen, H.E.; Nielsen, N.E.; Svendsen, H.: Daisy - A Soil Plant Atmosphere System Model. NPO Research from the National Agency of Environmental Protection No. A 10, 1990.
- [KT06] Kristensen, HL; Thorup-Kristensen, K.: Roots below one meters depth are important for nitrate uptake by annual crops. ASA-CSSA-SSSA International meeting in Indianapolis, USA, 12-16 November, 2006.
- [Ra96] Rahn, C.R.; Greenwood, D.J.; Draycott, A.: Prediction of nitrogen fertiliser requirement with HRI WELL\_N Computer Model. In: Van Cleemput, O.; Hofman, G.; Vermoesen, A. (Hrsg.): Progress in Nitrogen Cycling (Proceedings of the 8th Nitrogen Fixation Workshop, Ghent, 5-8 September 1994), Kluwer, 1996; S. 255-258.
- [Ra98] Rahn, C.R., Paterson, C.D., Vaidyanathan, L.V. (1998): The use of measurements of soil mineral N in understanding the response of crops to fertilizer nitrogen in intensive cropping rotations. J. Agric. Sci. 130, 345-356.
- [Ri05] Riley, H.; Bonesmo H.: Modelling of snow and freeze-thaw cycles in the EU-Rotate\_N decision support system. Planteforsk Grønn Kunnskap (e) vol. 9, no. 112, 2005.