

Détermination des normes de fumure azotée pour les grandes cultures

Walter Richner¹, René Flisch¹, Sokrat Sinaj² et Raphaël Charles²

¹Station de recherche Agroscope Reckenholz-Tänikon ART, 8046 Zurich

²Station de recherche Agroscope Changins-Wädenswil ACW, 1260 Nyon

Renseignements: Walter Richner, e-mail: walter.richner@art.admin.ch, tél. +41 44 377 71 65



Petites parcelles d'essais de fumure

Introduction

La fumure azotée (N) a pour effet d'augmenter sensiblement le rendement et la qualité de la récolte des grandes cultures (Feil 1998). Dès lors, un bon approvisionnement en azote durant la croissance est une des principales mesures culturale. Par ailleurs, un apport d'azote trop élevé ou mal ciblé peut réduire la qualité des produits et/ou entraîner d'importantes pertes d'azote dans l'environnement, principalement sous forme de nitrate (NO_3) dans la nappe phréatique ou de protoxyde d'azote (N_2O) dans l'atmosphère. Il importe d'éviter au mieux de telles pertes, car les teneurs trop élevées en nitrates compromettent la qualité de la nappe phréatique et le protoxyde d'azote contribue au réchauffement climatique.

La détermination de la dose optimale de fumure N est une tâche importante, en raison du conflit d'intérêts entre l'augmentation du rendement par la fumure N et la garantie de la qualité du produit d'une part et d'autre part la minimisation des pertes d'azote dans l'environnement. Les DBF-GCH 2009 (Sinaj *et al.* 2009) expliquent comment déterminer la fumure N optimale à partir de

données normées. La question se pose alors de savoir quelle approche retenir. Par le passé, la fumure N était principalement basée sur le rendement maximal, tandis qu'aujourd'hui, elle est généralement orientée vers l'obtention d'un optimum économique.

La fumure N est économiquement équilibrée tant que les coûts de la dose d'azote supplémentaire sont couverts par l'obtention d'un rendement plus élevé (rendement plus élevé x prix de production). Elle est économiquement optimale (N_{opt}) lorsque les coûts supplémentaires du renforcement de la fumure N (coûts marginaux) correspondent au rendement plus élevé que l'on obtient (rendement marginal). Le rendement lié à N_{opt} est toujours quelque peu inférieur au rendement maximal réalisé théoriquement (fig. 1).

Différents travaux ont montré que si l'on renforce la fumure N jusqu'à l'obtention de N_{opt} , la dose d'azote minéral (N_{min}) dans le sol lors de la récolte n'augmente que faiblement, tout comme le risque de perte d'azote après la récolte (Bélanger *et al.* 2003; Hong *et al.* 2007). Lorsque les apports d'azote sont nettement supérieurs à N_{opt} , les teneurs en N_{min} augmentent sensiblement après

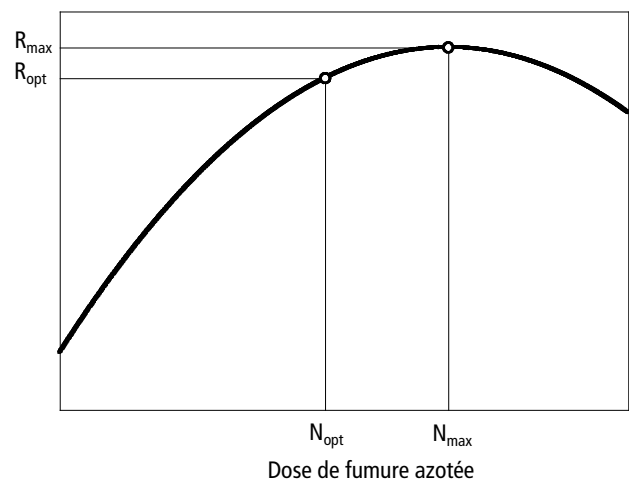


Figure 1 | Représentation schématique d'une fonction de production N et illustration des doses de fumure N (N_{max} , N_{opt}) pour obtenir un rendement maximal (R_{max}) et un rendement issu d'une fumure N économiquement optimale (R_{opt}).

la récolte. N_{opt} représente donc un bon compromis entre les objectifs économiques (haut rendement et produit de bonne qualité) et les objectifs écologiques (faibles pertes de N) visés dans les grandes cultures.

Cette publication démontre comment les normes de fumure N basées sur N_{opt} ont été élaborées dans d'importantes grandes cultures pour la révision 2009 des DBF-GCH.

Matériel et méthodes

Les normes de fumure N pour le blé d'automne, le triticale d'automne, le seigle d'automne, l'orge d'automne, le colza d'automne, le maïs grain et le maïs d'ensilage, ont été déterminées en trois étapes :

1. Essais au champ de doses échelonnées de N

Les essais au champ avec des doses croissantes d'azote sont à la base de la détermination des normes de fumure N (Schilling 2000). Pour les grandes cultures, ces doses sont généralement échelonnées avec des quantités uniformes de 20 à 40 kg N ha⁻¹. Les niveaux de fumure appliqués lors des essais pour les DBF-GCH 2009 s'appuient sur les normes des DBF-GCH 2001 (Ryser *et al.* 2001) (en kg N ha⁻¹): 0, fumure selon la norme - 40, fumure selon la norme, fumure selon la norme + 40, fumure selon la norme + 80 et fumure selon la norme + 120. Le niveau de fumure le plus haut n'a été étudié que pour le triticale d'automne, le seigle d'automne et le colza d'automne. Les doses de N utilisées lors de ces essais vont donc d'une absence de fumure à des apports qui dépassent nettement les normes de 2001. Ce procédé est nécessaire si l'on veut adapter correctement les fonctions mathématiques de production afin de déterminer la fumure optimale (voir ci-dessous).

Les essais de doses de N ont été réalisés sur de petites parcelles afin d'optimiser l'utilisation des ressources matérielle et humaine. Ils ont été répétés trois ou quatre fois, afin de réduire les influences d'une éventuelle hétérogénéité spatiale à l'intérieur des parcelles.

Le N_{opt} d'une culture peut varier significativement d'un site (champ) à l'autre et d'une année à l'autre (Lory et Scharf 2003, Brentrup et Link 2004). En outre, les variétés présentent parfois des valeurs optimales de fumure N différentes (Colwell 1994). C'est pourquoi les essais de doses de fumure N sont généralement réalisés à plusieurs endroits, pendant plusieurs années et sur plusieurs variétés d'une même culture, ce qui permet d'en déduire les meilleures valeurs optimales possibles. Pour les normes de fumure N à examiner dans le cadre de la révision des DBF-GCH 2009, nous avons choisi, selon la culture, entre 7 et 19 milieux d'essais contenant deux à six variétés par culture, toutes situées sur le Plateau suisse (tabl. 1).

Résumé

Cet article présente le principe d'une fumure azotée économiquement optimale (N_{opt}). Ce principe permet de procéder à la détermination quantitative des normes de fumure azotée. Le niveau optimal de fumure azotée ainsi obtenu représente un bon compromis entre les objectifs économiques et écologiques des grandes cultures. Dans le cadre des travaux destinés à acquérir les données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages (DBF-GCH 2009), le N_{opt} a été déterminé pour les principales grandes cultures sur la base de nombreux essais de fumure azotée. Les résultats de ces recherches ont conduit à un renforcement de la fumure optimale de 10 à 40 kg de N ha⁻¹ pour toutes les cultures, sauf le maïs. Néanmoins, afin de favoriser une fumure adaptée à la productivité spécifique de chaque site, les normes de fumure azotée de ces cultures n'ont pas été augmentées de façon générale. Des facteurs de correction dépendant du rendement ont été introduits pour déterminer la dose d'azote à appliquer.

2. Détermination des fonctions de production

Au cours des essais, le rendement en graines et, dans le cas du maïs d'ensilage, celui de la biomasse, ont été déterminés pour les différents niveaux de fumure N. Ainsi, les fonctions mathématiques, appelées fonctions de production, ont pu être adaptées aux rendements constatés pour diverses intensités de fumure N. Différents types de fonction ont été testés. La fonction la mieux adaptée a été choisie sur la base d'évaluations visuelles et statistiques (p. ex. à l'aide du coefficient de détermination des régressions). Dans la plupart des cas, les meilleurs ajustements de courbes ont été obtenus à l'aide du modèle de racine quadratique (Bélanger *et al.* 2000) du type $Y = a + bN^{1/2} + cN$ (Y signifie rendement, N indique la dose d'azote fertilisant, tandis que a , b et c sont les coefficients de l'équation de régression). Ce modèle a été utilisé pour toutes les cultures, à l'exception des cultures de colza pour lesquelles le modèle linéaire avec plateau (Gandorfer 2006) convenait nettement mieux. Dans chaque culture, une fonction de production individuelle a été adaptée pour chaque milieu d'essai.

3. Détermination de la dose de fumure N économiquement optimale

Le N_{opt} a été calculé pour chaque essai à l'aide des fonctions de production adaptées aux résultats de rende-

Tableau 1 | Données des essais de fumure N réalisés dans différentes grandes cultures pour les DBF-GCH 2009.

Culture	Années d'essai	Site d'essai	Nbre de milieux d'essais ¹⁾ (années x lieux)	Nombre de variétés
Blé d'automne	Nombre de variétés	Changins (VD) Goumoëns (VD) Zollikofen (BE) Gränichen (AG) Ossingen (ZH) Tänikon (TG) Arenenberg/ Fruthwilen (TG)	19	6 (4 variétés de blé panifiable et 2 de blé fourrager)
Triticale d'automne	2005 – 2007	Zollikofen (BE) Gränichen (AG) Tänikon (TG) Arenenberg/ Fruthwilen (TG)	12	2
Seigle d'automne	2006 – 2007	Zollikofen (BE) Gränichen (AG) Tänikon (TG) Arenenberg/ Tägerwilen (TG)	7	2 (1 variété population et 1 hybride)
Orge d'automne	2006 – 2007	Changins (VD) Goumoëns (VD) Zollikofen (BE) Gränichen (AG) Tänikon (TG) Tägerwilen/ Fruthwilen (TG)	11	4
Maïs	2005 – 2007	Changins (VD) Zollikofen (BE) Gränichen (AG) Tänikon (TG) Kreuzlingen/ Bonau/ Wigoltingen (TG)	15	3 variétés à double usage (maïs d'ensilage et maïs grain)
Colza d'automne	2006 – 2007	Changins (VD) Oensingen (SO) Reckenholz (ZH) Gennersbrunn SH)	7	3

¹⁾ Étant donné que certains essais n'ont pas pu être réalisés pour différentes raisons, le nombre des milieux d'essais ne correspond pas toujours au produit des années et des sites d'essai.

ment. N_{opt} est défini comme étant la dose d'azote pour laquelle le rendement marginal correspond aux coûts marginaux de la fumure N. Pour les fonctions de production basées sur le modèle de racine quadratique, N_{opt} a été calculé selon l'équation $N_{opt} = (0,5b/CP - c)^2$ (Bélangier *et al.* 2000), b et c étant les coefficients de ce modèle et CP indiquant le rapport entre les coûts de la fumure et le prix du produit. Pour la fonction de production linéaire avec plateau, N_{opt} est défini par le point d'intersection des deux segments linéaires de la fonction, indépendamment des coûts de fumure et des prix du produit (Gandorfer 2006).

Pour calculer le N_{opt} , nous avons utilisé les prix de l'engrais minéral N (CHF 2.–/kg N) valables au moment

de la mise en valeur (printemps 2008) et ceux des produits de la récolte (prix selon les indications de Swiss granum et Agridea).

Dans un cas comme dans l'autre, les valeurs N_{opt} obtenues étaient supérieures à la dose maximale de fumure N utilisée. N_{opt} a alors été classé au plus haut niveau N, car la détermination de cette valeur n'est fiable que dans la marge des doses de fumure N examinées.

Pour procéder à la détermination des normes de fumure N des DBF-GCH 2009, la valeur médiane des valeurs N_{opt} de tous les milieux d'essai a été calculée pour chaque culture. Ces normes correspondent aux valeurs médianes arrondies aux 10 kg N.

Les normes de fumure N ainsi obtenues ont été vérifiées à l'aide des critères suivants:

- Caractéristiques qualitatives de la récolte (p. ex. qualité boulangère du blé panifiable);
- Valeurs résiduelles de N_{min} au moment de la récolte, à titre de valeur sommaire indiquant les pertes potentielles d'azote après la récolte.

Lorsque les doses de fumure N situées dans la marge de N_{opt} n'ont pas eu pour effet d'amoinrir la qualité de la récolte ni d'augmenter les teneurs en N_{min} du sol après la récolte, N_{opt} a été arrondi aux 10 kg N ha⁻¹ et repris comme norme de fumure N.

Résultats et discussion

Optima économiques de la fumure azotée

Les valeurs N_{opt} des différentes cultures et essais sont résumées dans le tableau 2. L'étendue, c'est-à-dire la différence entre le maximum et le minimum des optima économiques des cultures, est large. A l'exception de l'orge d'automne et du colza d'automne, elle est toujours supérieure à 100 kg N ha⁻¹ et se monte à environ 150 respectivement 190 kg N ha⁻¹ pour les deux types de maïs (ensilage et grain). Cette large dispersion de N_{opt} confirme les résultats d'autres études (Lory et Scharf 2003, Brentrup et Link 2004) dans lesquelles il a été constaté que la fumure N optimale dépendait largement du milieu.

Outre les variations des rendements dues au climat, la variabilité entre années et entre sites de l'azote libéré à partir de la minéralisation de la matière organique du sol est probablement la principale cause de la large dispersion de N_{opt} observée entre les essais. La grande variation de l'azote du sol est démontrée à l'aide des valeurs N_{min} qui ont été mesurées pendant la croissance juvénile du maïs dans 15 essais du Plateau suisse : La différence entre la valeur N_{min} la plus basse et la plus élevée dépasse 100 kg N ha⁻¹ (résultats détaillés non présentés). En raison de sa croissance constante en automne, le maïs

Tableau 2 | Valeurs minimales, médianes et maximales de l'optimum économique de la fumure N des grandes cultures étudiées pour les DBF-GCH 2009.

Culture	Nbre de milieux d'essai	Optimum économique de la fumure N (kg N ha ⁻¹)		
		Valeur minimale	Valeur médiane	Valeur maximale
Blé d'automne (blé panifiable)	19	97	165	234
Blé d'automne (blé fourrager)	19	85	157	224
Seigle d'automne	7	56	114	184
Seigle d'automne (hybrides)	7	60	133	207
Triticale d'automne	12	89	118	203
Orge d'automne	11	109	134	190
Colza d'automne	7	105	168	193
Maïs d'ensilage	15	39	97	190
Maïs grain	15	29	113	220

est particulièrement apte à absorber l'azote minéral du sol pendant la période de végétation (Hugger 1992) et il réagit plus fortement que les autres cultures aux variations de la minéralisation de l'azote du sol entre années et entre sites. Cela pourrait expliquer la raison pour laquelle les valeurs N_{opt} les plus basses constatées pour le maïs étaient d'environ 30 (maïs grain) resp. 40 kg N ha⁻¹ (maïs d'ensilage) et pourquoi la dispersion de N_{opt} était la plus large (tabl. 2).

Pour le blé, il est étonnant de constater que les valeurs médianes de N_{opt} du blé panifiable et du blé fourrager étaient presque identiques. La valeur médiane du blé panifiable était même supérieure à celle du blé fourrager, et cela malgré son faible niveau de rendement. Pour un même apport d'azote, les variétés de blé fourrager étudiées sont capables de constituer un rendement nettement meilleur que les variétés de blé panifiable. Contrairement aux types de variétés de blé, les deux formes de variétés de seigle d'automne se distinguent nettement en ce qui concerne le N_{opt} ; le niveau économiquement optimal de fumure N du seigle d'automne hybride à haut rendement dépassait d'environ 20 kg N ha⁻¹ celui du seigle d'automne. Les valeurs N_{opt} du maïs d'ensilage ou du maïs grain des variétés de maïs à double usage présentaient des différences d'environ 15 kg N ha⁻¹; il a fallu manifestement plus d'azote pour obtenir une bonne formation des grains (maïs grain) que lorsqu'il s'agissait uniquement d'acquérir une riche biomasse (maïs d'ensilage).

Les valeurs médianes de N_{opt} présentées dans le tableau 2 sont à la base des recommandations de fumure N émises dans les DBF-GCH 2009.

Corrections de la fumure N selon le rendement pour les DBF-GCH 2009

Par rapport aux normes de fumure N des DBF-GCH 2001 (Ryser *et al.* 2001), la valeur N_{opt} est de 10 (triticale d'automne) à 40 kg N ha⁻¹ (seigle d'automne, variété hybride) supérieure dans toutes les cultures étudiées, sauf pour le maïs (tabl. 3). La différence par rapport aux anciennes recommandations en la matière est de 20 kg N ha⁻¹ dans la plupart des cultures. Pour le maïs grain, la valeur N_{opt} est proche de celle des anciennes normes; elle est même de 10 kg N ha⁻¹ inférieure pour le maïs d'ensilage. La faible différence de N_{opt} entre ces deux formes d'utilisation du maïs ne justifie pas une recommandation de fumure différenciée. Il a donc été décidé d'émettre une recommandation identique pour le maïs et de maintenir la norme de fumure N à 110 kg N ha⁻¹.

Les essais de fumure N décrits dans ce travail ont justifié un renforcement modéré, mais systématique, de la fumure N optimale de toutes les cultures étudiées, sauf celles du maïs. Les essais fondés sur les normes de fumure N des DBF-GCH 2001 ont été réalisés il y a dix ans ou plus. Depuis, les conditions d'essais, la méthode d'appréciation des résultats ainsi que d'autres facteurs d'importance pour la détermination du niveau de fumure N ont été modifiés. Ces facteurs portent sur les progrès accomplis en général, sur l'évolution des connaissances spécifiques et des techniques de production et sur l'introduction de nouveaux types de variétés à haut rendement (p. ex. blé fourrager, seigle hybride). En conséquence, dans des conditions du milieu favorables et à l'aide de techniques culturales adéquates, il est possible aujourd'hui de renforcer quelque peu la fumure N dans l'objectif d'obtenir un rendement économiquement favorable. Bien que les essais décrits dans ce travail justifieraient une augmentation modérée de la fumure N des cultures étudiées, les normes en question figurant dans les DBF-GCH 2001 n'ont pas été augmentées lors de l'élaboration des DBF-GCH 2009. En effet, les essais de fumure ont été réalisés sur des sites typiques de grandes cultures du Plateau suisse avec des sols bien pourvus en azote. Dans la pratique en revanche, les principales grandes cultures sont présentes également dans des zones marginales (zones élevées, sols défavorables, etc.). Dès lors, on doit tenir compte du fait que le niveau de fumure N optimal issu des essais ne peut pas être appliqué tel quel pour toutes les conditions de production en Suisse. Il a donc été décidé de ne pas procéder à un renforcement général des normes, mais d'intégrer dans les

Tableau 3 | Bases de calcul pour la correction des normes de fumure N des DBF-GCH 2009 en fonction du rendement supérieur ou inférieur par rapport au rendement de référence. A l'exception du N_{opt} , les données proviennent de l'édition 2009 des DBF-GCH (Sinaj et al. 2009).

Culture	Rendement de référence ¹⁾ (q grains resp. biomasse ha ⁻¹)	Rendement maximal pour la correction de N (q grains ha ⁻¹)	Norme de fumure azotée (kg N ha ⁻¹)	Optimum économique de la fumure azotée (N_{opt}) (kg N ha ⁻¹)	Correction de la fumure azotée en fonction du rendement (kg N q ⁻¹ grains)
Blé d'automne (blé panifiable)	60	80	140	160	1,0
Blé d'automne (blé fourrager)	75	95	140	160	1,0
Seigle d'automne	55	80	90	110	0,8
Seigle d'automne (hybrides)	65	90	90	130	1,2
Triticale d'automne	60	95	110	120	0,3
Orge d'automne	60	90	110	130	0,7
Colza d'automne	35	40	140	160	4,0
Maïs d'ensilage	175	– ²⁾	110	100	– ²⁾
Maïs grain	95	– ²⁾	110	110	– ²⁾

¹⁾ Le rendement de référence correspond au niveau de rendement moyen annuel obtenu par la plupart des exploitations (Sinaj et al. 2009). Il est fondé en premier lieu sur les relevés statistiques de l'Union suisse des paysans (USP).

²⁾ Ces valeurs ne sont pas indiquées pour le maïs d'ensilage ni le maïs grain, car comme cette céréale ne présente qu'une faible différence entre la norme de fumure N adoptée jusqu'à présent et le N_{opt} , aucune correction de cette norme n'a été déterminée en fonction du rendement.

DBF-GCH 2009 de nouveaux facteurs spécifiques à la culture qui corrigent les normes de fumure N adoptées jusqu'à présent en fonction du rendement. Ces facteurs de correction sont présentés dans le tableau 3.

La détermination des facteurs de correction a été réalisée de la façon suivante: la différence entre l'optimum économique de la fumure N et la norme de fumure N des DBF-GCH 2001 a été divisée par la différence entre le rendement maximal considéré comme étant réaliste sur la base des essais et le rendement de référence des DBF-GCH 2001. Pour le blé panifiable, une différence de fumure N de 20 kg N (= 160 – 140 kg N) a ainsi été divisée par la différence de rendement de 20 q (= 80 – 60 q); il en résulte une correction de la fumure de 1,0 (kg N q⁻¹ grains) en fonction du rendement.

Afin d'éviter une fertilisation excessive due à des estimations trop optimistes du rendement attendu, il est proposé de plafonner cette correction à un rendement maximal considéré comme réaliste. Il s'agit là d'une nouveauté par rapport aux DBF-GCH 2001 selon lesquelles une telle correction n'était pas réalisable.

L'optimum économique de la fumure azotée dépend peu des changements de prix

Bien que les recommandations de fumure N déterminées selon le principe de l'optimum économique soient internationalement répandues, certains prétendent au contraire que la dose de fumure recommandée dépend

largement des prix fluctuants des engrais azotés et de la production. Nos propres analyses de sensibilité pour le blé (résultats détaillés non présentés) ont montré que lorsque le prix du blé varie de 10 francs ou celui de l'engrais azoté de 10 %, le changement de N_{opt} est minime (environ 5 resp. 3 kg N ha⁻¹). Etant donné que les fonctions de production à la base des calculs du N_{opt} ne sont pas linéaires, les modifications de cet optimum ne peuvent être extrapolées de façon linéaire en cas de fortes variations du prix du blé ou du fertilisant. En outre, les effets produits sur N_{opt} par une modification des prix des engrais azotés et du produit peuvent s'annuler réciproquement. C'est le cas, par exemple, lorsqu'une baisse des recettes du produit a pour effet d'amoindrir le N_{opt} , alors qu'une diminution simultanée du prix de la fumure le fait augmenter. Ainsi n'est-il pas nécessaire de contrôler et d'adapter constamment le N_{opt} en raison des modifications courantes du prix des produits et de la fumure.

Conclusions

Le principe de la fumure N économiquement optimale permet de procéder à la détermination quantitative des normes de fumure N à l'aide d'essais au champ. Le niveau optimal de fumure N ainsi obtenu représente un bon compromis entre les objectifs économiques et écologiques de la production des grandes cultures. ■

Abréviations

DBF-GCH: Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages

N: Azote
 N_{\min} : Azote minéral
 N_{opt} : Fumure azotée économiquement optimale

Riassunto**Derivazione delle norme di concimazione azotata per la coltura**

Nel presente lavoro viene spiegato il principio della concimazione azotata economicamente ottimale (N_{ott}), secondo cui è consentita una derivazione quantitativa delle norme di concimazione azotata sulla base di prove incentrate su tale aspetto. Il livello ottimale di concimazione così calcolato costituisce un valido compromesso tra gli obiettivi economici e quelli ecologici della coltura. Nell'ambito dei lavori attinenti ai «Dati di base per la concimazione in coltura e foraggicoltura (DBC)» 2009, è stato determinato, in base a numerose prove di concimazione azotata il livello di N_{ott} per diverse importanti colture di pieno campo. I risultati di queste prove hanno determinato per quasi tutte le colture, eccezion fatta per il mais, un aumento della norma di concimazione azotata compreso tra 10 e 40 kg N ha⁻¹. Affinché la concimazione azotata risulti comunque adeguata alla produttività del luogo, le norme di concimazione di queste colture non sono state aumentate in modo generalizzato, bensì si è effettuata l'introduzione di una correzione del quantitativo di azoto da apportare in funzione della resa.

Bibliographie

- Bélanger G., Walsh J. R., Richards J. E., Milburn P. H. & Ziadi N., 2000. Comparison of three statistical models describing potato yield response to nitrogen fertilizer. *Agronomy Journal* **92**, 902–908.
- Bélanger G., Ziadi N., Walsh J.R., Richards J. E. & Milburn P. H., 2003. Residual soil nitrate after potato harvest. *Journal of Environmental Quality* **32**: 607–612.
- Brentrup F. & Link A., 2004. Stickstoffdüngung zur richtigen Zeit. *Getreidemagazin* **9**, 230–232.
- Colwell J. D., 1994. Estimating fertilizer requirements: A quantitative approach. CAB Int., Wallingford, Oxfordshire, UK.
- Feil B., 1998. Physiologische und pflanzenbauliche Aspekte der inversen Beziehung zwischen Ertrag und Proteinkonzentration bei Getreidesorten: Eine Übersicht. *Pflanzenbauwissenschaften* **2**(1): 37–46.
- Gandorfer M., 2006. Bewertung von Precision Farming dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Dissertation Technische Universität München, Weihenstephan.
- Hong N., Scharf P. C., Davis J. G., Kitchen N. R. & Sudduth K. A., 2007. Economically optimal nitrogen rate reduces soil residual nitrate. *Journal of Environmental Quality* **36**, 354–362.
- Hugger H., 1992. Stickstoffdüngung zu Mais unter Berücksichtigung der Bodennachlieferung. *Mais* **2**/1992, 14–16.
- Lory J. A. & Scharf P. C., 2003. Yield goal versus delta yield for predicting fertilizer nitrogen need in corn. *Agronomy Journal* **95**, 994–999.
- Ryser J. P., Walther U. & Flisch R., 2001. DBF 2001 – Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'agriculture* **33**, (3), 1–80.
- Sinaj S., Richner W., Flisch R. & Charles R., 2009. DBF-GCH 2009 – Données de base pour la fumure des grandes cultures et des herbages. *Revue suisse d'agriculture* **41** (1), 1–98.
- Schilling G., 2000. Pflanzenernährung und Düngung. Ulmer, Stuttgart, 464 S.

Summary**Determination of nitrogen fertilization standards for arable crops**

This paper explains the principle of economically optimal N fertilization (N_{opt}). This principle allows the quantitative derivation of N fertilization standards based on N fertilization trials. The optimum level of N fertilization thus found represents a good compromise between the economic and ecological aims of arable farming. Within the framework of the studies concerning the «Principles of Fertilization in Arable and Forage-Crop Production» (GRUDAF) 2009, the N_{opt} for several important arable crops was determined based on extensive N fertilization trials. For all crops but maize, the results of these studies have led to an increase in optimum N fertilization by 10 to 40 kg N ha⁻¹. In order to promote N fertilization adapted to site productivity, however, the N fertilization standards of these crops were not as a rule raised, but rather yield-dependent correction factors were introduced for the N quantities to be applied.

Key words: Arable crops, economically optimal nitrogen rate, nitrogen fertilization recommendations, nitrogen losses, product quality, yield.