

# N-Düngung zu Winterweizen

## Bedarfsgerechte N-Dosierung und Aufteilung ist Voraussetzung für effiziente Nutzung, optimale Ertragsstruktur, Ertragsleistung und Qualität

Stickstoff wird oft als „Motor des Pflanzenwachstum“ bezeichnet. Dieser Vergleich beschreibt die Bedeutung vortrefflich, denn ohne N ist kein Wachstum möglich. Durch die N-Düngung kann Ertragsstruktur, Ertrag und Qualität mehr gesteuert werden als durch jede andere produktionstechnische Maßnahme. Wird der N-Düngeraufwand entsprechen dem Bedarf und dem Verwertungsziel angepasst, zählt die N-Düngung, trotz gestiegener Kosten immer noch zu den rentabelsten produktionstechnischen Maßnahmen. Bei einer exakten und bedarfsgerechten Dosierung und ordnungsgemäßem Einsatz ist auch nicht davon auszugehen, dass unvermeidbare Auswaschungen entstehen die Wasser und Umwelt über ein unvermeidbares Maß hinaus belasten könnten.

Nicht zuletzt wegen der besonderen Wirkung und der Umweltbrisanz haben sich Wissenschaft aber auch Gesetzgebung, intensiv mit dem Thema N Einsatz beschäftigt. Die Aktivitäten sollen dazu beitragen eine möglichst effiziente Düngung zu gewährleisten, mögliche Umweltbelastungen zu verhindern und im Rahmen von Verordnungen u.ä. den ordnungsgemäßen Einsatz zu regeln, zu überprüfen und sofern erkennbar Verstöße zu ahnden.

Die Düngeverordnung regelt in einigen Punkten die Düngung und gibt einen relativ engen Rahmen vor. Soweit sie noch Raum lässt, eine Düngestrategie nach fachlichen Kriterien zu entwickeln, können die ab Punkt 2 vorgestellten Versuchsergebnisse Beachtung finden und dazu beitragen die Effizienz zu steigern und Erträge und Qualitäten abzusichern.

**1. Die Düngeverordnung**, die am 13. Januar 2006 im Bundesgesetzblatt bekannt gemacht wurde ist seitdem in Kraft und muss von jedem Landwirt der wesentliche Nährstoffmengen auf seine Felder bringt beachtet werden. Die Verordnung regelt die „gute fachliche Praxis“ beim Düngen (Bezugsquellen der kompletten Verordnung bei den Länderfachbehörden u.ä., z.B. per Internet unter: <http://www.lfl.bayern.de/iab/duengung/> ). In der Verordnung sind wesentliche Punkte zur N-Düngung geregelt: z.B.

- 1.1 Die **Düngebedarfsermittlung**, muss vor der Düngung durchgeführt werden, wenn mehr als 50 kg N und 30 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> pro ha und Jahr aufgebracht werden. Dabei ist der Nährstoffgehalt des Bodens, die Nährstoffnachlieferung der Vorkultur, aus Zwischenfrüchten, aus der Düngung mit organischen Düngemitteln, usw. zu berücksichtigen. Der Nährstoffgehalt des Bodens muss jährlich durch eine Bodenuntersuchung (N<sub>min</sub> oder EUF) festgestellt werden. Wird die Untersuchung nicht im Einzelfall durchgeführt, müssen vergleichbare Ergebnisse bei der Bedarfsermittlung zugrundegelegt werden (z.B. die von den Landesanstalten / Landwirtschaftskammern, in Fachzeitschriften oder im Internet veröffentlichten, z.B. o.g. Internetadresse oder <http://www.nmin.de> u.a.).
- 1.2 Die **Grundsätze der Anwendung**, regeln vor allem die Bedingungen unter denen gedüngt werden darf und die Abstände die zu angrenzenden Gewässern einzuhalten sind, um eine Umwelt und Gewässerbelastung zu verhindern (z.B. nicht bei wassergesättigten, gefroren oder durchgängig mit mehr als 5 cm schneebedeckten Böden düngen; usw.).
- 1.3 Die **Regeln für die Ausbringung und Obergrenzen für Wirtschaftsdünger** verbieten i.a. eine Düngung auf Ackerland, zwischen dem 1. November und dem 31. Januar und erlauben eine Düngung nach der Ernte der Hauptfrucht nur bis zu einer Höhe des aktuellen Düngebedarfs einer Folgekultur, die im gleichen Jahr angebaut wird (Hauptfrucht z.B. Winterraps einschließlich Zwischenfrüchte). Eine Ausgleichsdüngung für das am Feld verbleibende Getreidestroh ist erlaubt, wobei die Obergrenze von 40 Kilogramm Ammonium-N oder 80 kg Gesamt-N bei Einsatz von Gülle oder anderen organischen Düngemitteln nicht überschritten werden darf.
- 1.4 Ein **Nährstoffvergleich**, als Flächenbilanz für den Betrieb oder als aggregierte Schlagbilanz, ist vorgeschrieben und muss für das abgelaufenen Düngejahr, jährlich bis zum 31. März zu erstellt werden. Der jährliche Nährstoffvergleich ist fortzuschreiben und darf im Durchschnitt von 3 zurückliegenden Düngejahren bestimmte Obergrenzen nicht überschreiten (z.B. 2006 bis 2008, 90 kg/ha und Jahr und 2009 bis 2011, 60 kg/ha und Jahr).
- 1.5 Es besteht eine **Aufzeichnungspflicht von 9 Jahren**, d.h. Ergebnisse der Bodenuntersuchung bzw. der Düngebedarfsermittlung, der Ausgangsdaten wie Erntergebnisse, Düngereinsatz u.ä. und der komplette Nährstoffvergleich, usw. sind aufzubewahren und bei entspr. Kontrollen vorzulegen.

**2. Exaktversuche – Basis für die Düngestrategie:** Eine für den Standort optimale Düngestrategie lässt sich nur unter Beachtung der Standortverhältnisse entwickeln und umsetzen. Versuchsergebnisse von denen eine Düngestrategie abgeleitet wurde sind unter den Standorteinflüssen zu interpretieren, denn sowohl die Bodenverhältnisse wie auch die Witterung und der Witterungsverlauf können das gesamt Boden-N-Angebot und den zeitlichen Verlauf beeinflussen. Im Hinblick auf diese Feststellung muss beachtet werden, dass es nur eine mehr oder weniger allgemeingültige Basis für eine Düngestrategie gibt. Unterschiedliche Bodenverhältnisse können Anlass geben, bei der Übertragung eines Düngekonzeptes auf andere Standorte gewisse Korrekturen und Anpassungen vorzunehmen. Weil sich die Witterung von Jahr zu Jahr ändert verändert sich auch das Boden-N-Angebot, so dass i.d.R. auch deshalb eine „Feinsteuerung“ beim Düngereinsatz notwendig wird.

Seit 1985 gehörte das Thema N-Düngung zu den Schwerpunkten der Feldversuchstätigkeit, auf der Versuchsstation Roggenstein des Wissenschaftszentrums Weihenstephan der TUM. Es wurden mehrere Serien von verschiedenen Exaktversuchen abgeschlossen und ausgewertet, in denen die Prüfglieder i.d.R. 4 mal wiederholt waren. Die Einzelparzellen hatten eine Größe von brutto 30 m<sup>2</sup>, wovon aus dem Kern 15 m<sup>2</sup> geerntet wurden, so dass Einflüsse von benachbarten, unterschiedlich gedüngten Parzellen ausgeschlossen werden konnten. Soweit in Versuchen über einen längeren Zeitraum hinweg Boden- und Pflanzenproben, für N-Untersuchungen oder zur Ermittlung der Ertragsstruktur gezogen wurden, wurden zusätzliche Probeparzellen eingerichtet um das Ernteergebnis nicht zu verfälschen. Die Versuche wurden i.d.R. nach einer „Gesundungsfrucht“ (Winterraps oder Hafer), je nach Jahrgang und Witterung, in der ersten Oktoberhälfte, mit ca. 220 bis 250 Körnern / m<sup>2</sup> bei optimalen Bodenverhältnissen, angebaut. Bei den Versuchsstandorten handelte es sich um sL Böden, Parabraunerde, die nach der Reichsbodenschätzung mit einer Ackerzahl mit ca. 55 Punkten bewertet wurden. Der durchwurzelbare Horizont hat eine Mächtigkeit von ca. 60 cm, danach folgt Kies. Die Böden befanden sich in gutem Strukturzustand. Nach der Bodenuntersuchung lag der pH-Wert ebenso die Grund- und Spurennährstoffversorgung im optimalen Bereich.

In den einschlägigen N-Düngungsversuchen wurde die übrige Anbautechnik, z.B. Grund- und Spurennährstoffdüngung, Herbizid-, W-Regler-, Fungizid- und Insektizideinsatz optimal gestaltet. In einschlägigen benachbarten Versuchen wurden jedoch auch Wechselwirkungen untersucht. Es hat sich eindrucksvoll gezeigt, dass Mängel bei anderen produktionstechnischen Maßnahmen und Anbaufehler, durch die N-Düngung höchstens etwas kaschiert, aber nie ganz behoben wurden.

Da die N-Düngung als eine zentrale produktionstechnische Maßnahme zu betrachten ist, müssen alle anderen Maßnahmen optimal gestaltet werden um eine hohe Effizienz des Düngereinsatz zu erzielen.

**3. N-Angebot und Verlauf der N-Aufnahme, beeinflussen Ertrag und Ertragsstruktur:** Nachdem nach 1976 die  $N_{min}$  Methode veröffentlicht war, wurden auch in Roggenstein s.g. „Eichversuche“ durchgeführt, in denen die Übertragbarkeit der Methode und der Sollwerte getestet wurde. Nach Abschluss der ersten Versuchsserien waren jedoch einige Ergebnisse nur schwer zu interpretieren und nicht immer plausibel, deshalb wurde damit begonnen, Bodenuntersuchungen nicht nur bei Vegetationsbeginn durchzuführen, sondern in engen Zeitabständen auch noch während der Schossphase. Dabei wurde festgestellt, dass das N-Angebot auf dem südbayerischen Versuchsstandort sehr dynamisch verläuft und keineswegs nur mit einem Messwert beschrieben werden kann. Offenbar war das Pufferungsvermögen auf den „leichten“ Böden in Roggenstein wesentlich schwächer ausgeprägt, wie z.B. das von tiefgründigen Lös-Lehmböden, wie sie z.B. in „Gäulagen“ Niedersachsens oder Niederbayerns anzutreffen sind. In Kombination mit stark wechselnden Witterungseinflüssen im mehr kontinentalen Klimaraum hat sich das N-Angebot oft in kurzer Zeit sehr stark verändert und war großen Schwankungen unterworfen.

Während der Schossphase wurden in einigen Versuchsserien nicht nur kontinuierlich Bodenuntersuchungen durchgeführt, sondern auch der N-Gehalt und der Verlauf der N-Aufnahme, in 3- bis 4-tägigem Abstand, gemessen. Um eindeutige Differenzierungen zu erhalten wurden gestaffelte N-Düngergaben ausgebracht, die sich sehr eindrucksvoll in den Messwerten niederschlugen und zeigten, dass der Verlauf der N-Aufnahme und dadurch auch die Ertragsstruktur, sehr deutlich durch die Steuerung des N-Angebotes beeinflusst werden kann. Nach Abschluss von zahlreichen Messungen hatte sich herausgestellt, dass eine optimale Ertragsstruktur bzw. optimale Erträge und eine effiziente N-Verwertung am ehesten erreicht werden, wenn die N-Aufnahme annähernd der abgebildeten optimalen Verlaufskurve folgt (**Abb. 1.**)

**3.1 Die Bodenuntersuchungsergebnisse zeigten ein standorttypisches Niveau der  $N_{min}$ -Gehalte an, allerdings oft nur unzureichend die gesamte pflanzenverfügbare N-Menge.** Unter den Standortbedingungen von Roggenstein (Humusaufgabe ca. 60 cm, Niederschlagssumme im Durchschnitt der letzten 10 Jahre: Oktober bis einschl. Februar ca. 300 l/m<sup>2</sup>), waren die  $N_{min}$ -Gehalte bei Vegetationsbeginn i.d.R. niedrig (10-jähriger Durchschnitt ca. 35 kg N/ha). Nur in Jahren mit deutlichen Abweichungen der Niederschlagsverhältnisse und / oder der Temperaturen während der Spätherbst- und Wintermonate hatten sich die  $N_{min}$ -Gehalte stärker vom standorttypischen Mittelwert entfernt. Stärkere Veränderungen sind dagegen oft schon kurz nach Vegetationsbeginn, ebenfalls unter dem Einfluss der Witterung, beobachtet

worden. Die nachfolgend kurz vorgestellten Ergebnisse einer älteren Versuchsserie zeigen beispielhaft, dass (in Roggenstein) trotz geringer  $N_{\min}$ -Gehalte eine optimale N-Verwertung nur erreicht wurde, wenn die Anfangsdüngergaben, von Vegetations- bis Schossbeginn knapp bemessen waren und eine ergänzende Spätdüngergabe, in ausreichender Höhe, frühzeitig ausgebracht wurde.

In einer vierjährigen Versuchsserie (**Abb. 2 bis Abb. 5**) wurde Astron mit 3 unterschiedlichen Düngermengen bis einschließlich EC 32 gedüngt (70 kg, 100 kg und 130 kg N/ha). Diese Mengen wurden auf 2 bzw. 3 Teilgaben aufgeteilt und bei Vegetationsbeginn, bei Schossbeginn und beim 2-Knotenstadium ausgebracht. Als Ergänzung zu dieser s.g. N-Grundversorgung wurden differenzierte N-Spätdüngergaben verabreicht (**Abb. 2**). Durch die Addition von N-Grund- und Spätdüngung errechnete sich ein Gesamtdüngerangebot zwischen 70 und 250 kg N/ha. Die in der **Abb. 2** dargestellten Ergebnisse zeigen, dass schon mit der niedrigsten N-Grunddüngergabe Spitzenerträge erreicht wurden, wenn die ergänzende Spätdüngung rechtzeitig, bei EC 39, in ausreichender Höhe, mindestens 80 kg N/ha, ausgebracht wurden. Wurde die Spätdüngergabe weiter gesteigert wurden nicht nur Spitzenerträge sondern auch Spitzenproteinwerte erreicht (**Abb. 2 und Abb. 3**). In den beiden Abb. wird weiter deutlich, dass bei optimaler N-Düngeraufteilung das Ertragsoptimum schon mit ca. 150 kg N/ha annähernd erreicht wurde und N-Düngergaben > 180 kg N/ha zu keinen weiteren Ertragssteigerungen mehr führten. Allerdings hatten die Proteinwerte auf ein erhöhtes N-Angebot positiv reagiert und sind vor allem bei „spätbetonten“ Düngungsvarianten überproportional angestiegen.

- 3.2 **Die Ertragsstruktur wird schon unter dem Einfluss des frühen N-Angebotes und der Anbautechnik entgültig festgelegt.** Durch angepasste Saattermine und Aussaatmengen sollte nach Möglichkeit dafür gesorgt werden, dass bis Vegetationsbeginn ein leistungsfähiges Wurzelsystem angelegt und ca. 220 Pflanzen, mit durchschnittlich je 2,5 kräftigen Trieben (Haupt- plus Nebentrieb mit mehr als 3 Blättern) entwickelt wurden. Wurde diese Triebzahl erreicht, die annähernd der Zielährenzahzahl von ca. 550 Ähren/m<sup>2</sup> entspricht, genügen verhältnismäßig geringe Anfangsdüngergaben, da die weitere Triebbildung nicht mehr stark gefördert werden muss. Bei gut entwickelten Ausgangsbeständen und einem angepasstem geringem N-Angebot während der Bestockungsphase ist gewährleistet, dass die überzählig angelegten schwächeren Triebe rechtzeitig reduziert werden. Werden Weizenbestände unter dem Einfluss eines überhöhten frühen N-Angebotes (oder überhöhter Aussaatmengen), während der Bestockungs- und frühen Schossphase zu dicht und die Reduktion von überzähligen Trieben verzögert oder ganz verhindert, wird dadurch die Konkurrenz um Wachstumsfaktoren, Licht, Nährstoffe, Wasser usw. verschärft, mit der Folge, dass die Reduktion von Kornanlagen gesteigert wird. Überhöhte Triebzahlen vermindern nicht nur die Kornzahl/Ähre, sondern führen durch den erhöhten Konkurrenzdruck auch zu schlechterer Kornausbildung. Außerdem nehmen Lager- und Krankheitsdruck zu, Ertragssicherheit und Kornqualität sind gefährdet.

In der **Abb. 4** sind Durchschnittsergebnisse von Ertragsstrukturerhebungen dargestellt. Es kommt dort sehr deutlich zum Ausdruck, dass unter dem Einfluss des gesteigerten frühen N-Angebotes die Ährenzahlen/m<sup>2</sup> anstieg und die Kornzahl/Ähren und das Tausendkorngewicht abnahm. Differenzierte Spätdüngergaben, ab EC 39, wirken sich dagegen kaum noch auf die Ertragsstruktur aus. Bemerkenswert ist, dass selbst das Tausendkorngewicht weniger auf das Spätdüngerangebot reagierte, als auf die frühen N-Düngergaben bzw. auf die bereits festgelegte Bestandesdichte und Kornzahl/Ähre. Diese Zusammenhänge zwischen N-Angebot und Ertragsstrukturbildung wurden in zahlreichen anderen Versuchen, auch bei anderen, „neueren“ Sorten vielfach bestätigt.

**Die  $N_{\min}$ -Gehalte hatten sich schon kurz nach Vegetationsbeginn stark verändert und insofern nur unzureichend das pflanzenverfügbare Gesamt-N-Angebot angezeigt.** In der **Abb. 5** wurde der im 4-jährigen Durchschnitt gemessene  $N_{\min}$ -Gehalt durch die unterste Linie markiert. Die zweite Linie markiert die N-Menge die der Weizen auf ungedüngten Parzellen aus dem Bodenvorrat aufgenommen hatte. Zu dieser Menge wurden die unterschiedlichen N-Düngergaben hinzuaddiert und als N-Gesamtangebot, entsprechend der Skalierung, durch Linien markiert. Aus dieser Darstellung kann abgelesen werden, dass bei geringerem N-Gesamtangebot die Nutzung des s.g. Priming-N in höherem Maße möglich war, als bei hohen N-Düngergaben. Durch die unterschiedliche Säulendarstellung wird deutlich, dass nach gesteigerten N-Grunddüngergaben die N-Verwertung durch die Körner nicht anstieg, es hatte lediglich die N-Menge im Stroh zugenommen.

Bodenuntersuchungen während der Schossphase charakterisierten die N-Dynamik und zeigten, dass je nach den Temperaturverhältnissen die  $N_{\min}$ -Gehalte oft schon kurz nach Vegetationsbeginn deutlich angestiegen sind. Besonders schnell stiegen die  $N_{\min}$ -Gehalte auf gedüngten Parzellen an, die Spitzenwerte wurden ca. 3 bis 4 Wochen nach der 1. Düngung, nach Vegetationsbeginn, gemessen. Wurden die Messwerte von ungedüngten und gedüngten Parzellen verglichen, war zu erkennen, dass der Anstieg des N-Angebotes unter dem Einfluss der N-Düngung überproportional angestiegen war, d.h. durch die N-Düngung wurde eine höhere Boden-N-Menge pflanzenverfügbar (= Priming-Effekt). Dieser Priming-Effekt war bei geringen N-Düngergaben und höheren Temperaturen stärker ausgeprägt als bei hohen N-Düngergaben und / oder nass-kalter Witterung.

Nach den folgenden Düngungsmaßnahmen, bei Schossbeginn bis EC 32, stiegen die  $N_{\min}$ -Gehalte, unter dem Einfluss der höheren Bodentemperaturen, wesentlich schneller an, die Maximalwerte wurden schon nach ca. 1. Woche erreicht. Da in der frühen Schossphase noch ausreichend Bodenwasser vorhanden war, konnte sich der Dünger auch bei nur geringen Niederschlagsmengen, unter dem Einfluss des kapillaren Wasseraufstiegs und der Taubildung, sehr schnell lösen. Auf Grund dessen wurden auch in Jahren ohne Niederschlag schon binnen 8 bis 10 Tage nach der Düngung die höchsten  $N_{\min}$ -Gehalte gemessen.

Schon kurz nach dem Erreichen der höchsten  $N_{\min}$ -Werte wurde regelmäßig ein sehr schnelles absinken der Messwerte festgestellt. Der sehr schnelle und deutliche Rückgang der  $N_{\min}$ -Werte war nicht alleine mit dem Anstieg der gemessenen N-Menge in der oberirdischen Weizenbiomasse zu erklären. Der N-Gehalt im Wurzelsystem des Weizens wurde nicht gemessen. Da die Wurzelmasse begrenzt ist, ist jedoch sehr zu bezweifeln, dass die hohe Differenz (teilweise um bis zu 100 kg N/ha) zwischen der Abnahme des N-Angebots und keiner entsprechenden Steigerung der N-Aufnahme in den Wurzeln lagern konnte. Vielmehr wird vermutet, dass im Rahmen von Austauschvorgängen eine vorübergehende Immobilisierung stattgefunden hatte. Unterstützt wird diese Hypothese auch von Messwerten unterschiedlicher Standorte. Es hat sich klar gezeigt, dass z.B. auf einem humusreicheren Standort der Anstieg der  $N_{\min}$ -Werte schneller und höher war, aber auch der Abfall wesentlich rasanter verlief, als auf einem sL-Boden mit geringerem Humusgehalt.

#### **4. Düngeraufwand nach Boden-N-Angebot, Ertragserwartung bzw. N-Entzug und Pflanzenentwicklung:**

Nicht nur um der Düngeverordnung genüge zu leisten sollte das Boden-N-Angebot ermittelt und bei der Düngerdosierung und –Aufteilung berücksichtigt werden, denn nur bei einem zeitlich angepasstem, bedarfsgerechtem N-Angebot, aus der Summe von Boden- und Dünger-N, wird die N-Aufnahme und die Ertragsstrukturbildung optimal verlaufen. Da es trotz Düngeverordnung und entspr. Empfehlungen zur  $N_{\min}$ -Untersuchung, schon aus Kosten- und Zeitgründen kaum möglich sein wird, von allen oder einer Vielzahl von Einzelschlägen entspr. Untersuchungen durchzuführen, sollten weitere und ergänzende Entscheidungskriterien bei der N-Düngung beachtet werden. Die „Roggensteiner Versuchsergebnisse“ deuten an, dass es ein standorttypisches Boden-N-Angebot gibt, welches bei der N-Düngerdosierung berücksichtigt werden sollte.

**4.1 Das Boden-N-Angebot kann sich unter dem Einfluss veränderter Mineralisierungsbedingungen schnell ändern, während das N-Nachlieferungspotential eines Standortes relativ konstant ist.** Neben den Standorterfahrungen zu Humus-, Tongehalt, Strukturzustand, Erwärmung usw., können Witterungsbeobachtungen und –auswertungen besonders hilfreich sein und dazu beitragen, die pflanzenverfügbare Boden-N-Menge zu schätzen. Die N-Mineralisierung und die Austauschprozesse die im Boden stattfinden, werden stark vom Witterungsverlauf und von der Bodenstruktur beeinflusst. Bei feucht warmer Witterung und gut durchlüfteten Böden ist u.U. mit einem höheren N-Angebot zu rechnen als bei nasskalter Witterung. Bei verdichteten und wassergesättigten Böden ist mit einer geringeren Mineralisierungsrate oder u.U. sogar mit N-Verlusten, durch Auswaschung und / oder Denitrifikation, zu rechnen. Je nach den Mineralisierungsbedingungen wird mehr oder weniger N von der mobilisierbaren N-Restmenge, aus dem Bodenpool, aus Humus und Ernterückständen der Vorfrucht pflanzenverfügbar und von den Pflanzen aufgenommen, wieder festgelegt oder verloren gehen.

Bei bedarfsgerechter N-Dosierung und im Sinne einer nachhaltigen Wirtschaftsweise kann angenommen werden, dass dem Boden etwa die gleiche N-Menge zugeführt werden muss, die mit der Ernte entzogen wird, vor allem dann, wenn weder eine Humus An- noch Abreicherung stattfindet.

Wird im praktischen Betrieb über mehrere Jahre eine annähernd ausgeglichene N-Bilanz ausgewiesen, kann auf Standorten mittlerer Bonität und bei mittleren Humusgehalten davon ausgegangen werden, dass eine N-Abreicherung in erster Linie nur durch eine Humusabreicherung möglich wäre und so die Bodenfruchtbarkeit gefährden könnte. Wird weiter davon ausgegangen, dass sich früher oder später eine standortspezifische N-Bodenreserve oder ein s. g. Mindestgehalt einstellt, kann auf Dauer nicht mit einer Netto-Bodennachlieferung kalkuliert werden.

Nach diesen Annahmen entspricht der Düngerbedarf annähernd der N-Entzugsmenge bzw. der N-Abfuhr.

**4.2 N-Entzug nach geschätzter Ertragserwartung und geplanter Verwertung: Qualitäts-, Futter-, Energieweizen.** Nach Schlagkartei- und Wetterdatenauswertung kann ein realistisches Ertragsziel angenommen und als Basis bei der Kalkulation des N-Düngerbedarfs Verwendung finden. Unter Berücksichtigung der Sortenwahl und der geplanten Verwertung des Erntegutes wird dann der zu erwartende N-Entzug berechnet, dabei kann auch auf Faustzahlen zurückgegriffen werden. Bei einer Ertragserwartung von 90 dt/ha Qualitätsweizen errechnet sich ein N-Entzug von z.B.:

➤  $N\text{-Entzug} = 90 \text{ dt/ha} * 2,2 \text{ kg N/dt} = 200 \text{ kg N/ha}$

(Entzugswert in Anlehnung an Düngeverordnung, z.B. in Anlage 1, bei Weizen, 14 % Rohprotein, N-Gehalt: 2,11 kg N/dt Kornertrag, mit Stroh + 0,5 kg N/dt Ertrag, bei einem Korn : Stroh - Verhältnis von 1 : 0,8).

Ob und wenn ja in welcher Höhe Abzüge von dem oben berechnetem Düngerbedarf für die Kornbildung möglich oder notwendig sind, hängt von der mobilisierbaren N-Menge im Boden, den Mineralisierungsbedingungen (Standort und Witterung) während der Vegetation und dem zeitlichen Verlauf des N-Angebotes ab. Das N-Nachlieferungspotential kann unter Berücksichtigung von Standorterfahrungen, der Vorfrucht, möglichen Nachwirkungen früherer organischer Düngung, z.B. Gülle u.ä und von einer einfachen schlagspezifischen Düngebilanzierung abgeleitet werden. Bei der Produktion von E-Weizen, mit sehr hohen Proteinwerten ist u.U. ein Zuschlag von ca. 20 kg N/ha notwendig.

Bei diesem einfachen Kalkulationsansatz wird davon ausgegangen, dass eine N-Abfuhr nur durch die Kornabfuhr stattfindet und das Stroh mit dem darin gebundenen N auf dem Feld, d.h. im Kreislauf verbleibt. Es wird auch unterstellt, dass der unvermeidliche N-Verlust durch andere Einträge (z.B. mit Niederschlag usw.) ausgeglichen wird und deshalb der für das „Strohwachstum“ benötigte N, während der Vegetation aus den mobilisierbaren N-Restmengen der Vorfrüchte und dem Bodenpool gedeckt wird. Entstehen größere N-Verluste, d.h. wird unvermeidlicher N-Austrag nicht von anderen N-Quellen und N-Einträgen gedeckt, oder wird der anteilige für das „Strohwachstum“ benötigte N nicht termingerecht verfügbar, muss durch eine entspr. erhöhte Düngermenge der Bedarf gedeckt werden.

**4.3 Die Pflanzenentwicklung bzw. den Weizenbestand viermal bonitieren um gezielt zu düngen.** Um den Arbeits- und Beobachtungsaufwand auf ein vertretbares Maß zu beschränken, sollten homogene Feldbestände an einem gut zugänglichem aber repräsentativen Teilstück mit durchschnittlicher Entwicklung zu wichtigen Terminen besichtigt werden. Optimal ist es, wenn im Beobachtungsbereich ein Düngefenster angelegt wird. Am eindrucksvollsten und besonders aussagekräftig kann die Höhe des Boden-N-Angebotes an einer kleinen ungedüngten Parzelle bewertet werden. Die ungedüngten Pflanzen reagieren frühzeitig und zeigen Mangelsymptome zu einem Zeitpunkt an, zu dem die gedüngten Pflanzen noch ausreichend versorgt sind. Je frühzeitiger der N-Mangel eintritt desto früher ist der Anschlussdüngunstermin zu setzen und je deutlicher dieser ausgeprägt ist, desto höher kann bzw. sollte die folgende Düngermenge angesetzt werden. Um die Technik der Anlage eines ungedüngten Düngefensters zu erleichtern kann u.U. vor der Überfahrt, beim 1. und 2. Düngungstermin eine ca. 5 bis 10 m<sup>2</sup> große Abdeckplane über die Pflanzen gelegt werden. Bei den 4 Bonituren,

- **Vegetationsbeginn,**
- **Bestockungsende bis Schossbeginn = BBCH 29 bis 30,**
- **Ein- bis Zweiknotenstadium = BBCH 31 bis 32,**
- **nach Erscheinen des letzten Blattes = BBCH 37 bis 39,**

sollte vor allem die Pflanzen- und Triebzahl und der Versorgungszustand der Pflanzen bewertet werden. Die Bewertung des Versorgungszustandes und des Boden-N-Angebotes drückt sich in der Bestandes- bzw. der Triebdichte und der Intensität der Grünfärbung der Einzelpflanzen aus. N-Mangel wird am deutlichsten an den älteren Blättern, bevorzugt an schwächeren Trieben sichtbar. Selbstverständlich können Hilfsmittel zur Feststellung der N-Versorgung verwendet werden, allerdings sollte in jedem Fall die Entwicklung der Trieb- bzw. der Bestandesdichte mit bewertet werden.

**5. Aufteilung der Düngermenge nach dem Pflanzenbeobachtungsmodell:** Die oben vorgeschlagenen Termine für die Bonitur des Pflanzenbestandes sollten möglichst eingehalten werden, denn wenn dann bei Bedarf, kurz nach diesen Terminen, eine Düngung durchgeführt wird, können so wie nachfolgend beschrieben, die Ertragsstrukturkomponenten stark beeinflusst und der optimale Verlauf der N-Aufnahme (**Abb. 1**) erreicht werden.

Wurde nach Standorterfahrungen ein Grundschemata für die Düngerverteilung festgelegt und werden nach der Bestandesbonitur bzw. der Bewertung der N-Mineralisierungsbedingungen die Düngermengen entsprechend angepasst, ist mit einem optimalen Verlauf der N-Aufnahme und guten Ergebnissen zu rechnen. Nach Roggensteiner Ergebnissen bewegten sich bei den optimal Varianten, während der letzten Jahre, die Düngermengen innerhalb der nachfolgend genannten Spannweiten:

**5.1 1.-Düngungstermin: ca. 30 bis 50 kg N/ha bzw. ca. 25 % des gesamt Düngereinsatzes, bei oder kurz nach Vegetationsbeginn, um die Anlage einer ausreichenden Anzahl von Ertragsorganen sicherzustellen.** Werden während der Bestockungsphase ungünstige Witterungs- bzw. Mineralisierungsbedingungen beobachtet, kann ein dadurch vermindertes Boden-N-Angebot die Triebbildung einschränken. Wird infolge dessen gegen Ende der Bestockung bzw. bei Schossbeginn, eine geringe Triebzahl festgestellt, kann durch eine Zwischendüngung dafür gesorgt werden, dass die vorhandenen Triebe optimal weiter ernährt werden und die Triebreduktion dadurch abgeschwächt wird.

Durch diese Trieberhaltung kann die Bestandesdichte deutlich gefördert und die Zielährenzahl auch nach einer mäßigen Bestockung erreicht werden. Sofern eine Zwischendüngung notwendig wird und dabei nur eine geringe N-Menge auszubringen ist, kann dies je nach Technik usw. u.U. auch mit einer Pflanzenschutzmaßnahme kombiniert werden.

Überhöhte Stickstoffmengen während der Jugendentwicklung fließen nicht ins Korn sondern nur ins Stroh.

- 5.2 **2.-Düngungstermin: ca. 50 bis 70 kg N/ha bzw. ca. 35 % des gesamt Düngeraufwandes, bei EC 31 bis EC 32, in Abhängigkeit vom Versorgungszustand, zur Stabilisierung der Triebzahl und der Kornanlagen.** In gut bestockten Beständen sollte die Anschlussdüngergabe nicht vor Beginn der Triebreduktion gegeben werden. Erst wenn an den schwachen überzähligen Trieben bzw. den älteren Blättern N-Mangelerscheinungen sichtbar werden und die Reduktion von überzähligen Trieben eingesetzt hat, sollte das N-Angebot erhöht werden. Wird die Anschlussdüngergabe zu früh verabreicht, werden die schwachen und unproduktiven Triebe nicht rechtzeitig oder nicht in ausreichender Zahl reduziert. Sind die Böden zu EC 31 schon sehr stark ausgetrocknet und wenn erfahrungsgemäß bzw. nach „guten“ Wetterprognosen nur mit geringen Niederschlägen zu rechnen ist, kann / sollte die Düngergabe möglichst bald nach einsetzen der Triebreduktion ausgebracht werden.

Durch ein ausreichend hohes N-Angebot während der Schossphase wird vor allem die Kornzahl/Ähre positiv beeinflusst. Eine hohe N-Konzentration in den Ährenanlagen der kräftigen Triebe, sorgt für eine gute Weiterentwicklung derselben.

- 5.3 **3.-Düngungstermin: Ab EC 37 bis spätestens EC 49, ca. 50 bis 100 kg N/ha, bzw. ca. 40 % des Gesamtdüngereinsatzes, um das Ertragspotential auszuschöpfen oder um bei Qualitätsweizenanbau die entspr. angestrebten Proteinwerte zu erreichen (evtl. bis zum Erreichen der Kapazitätsgrenze der N-Aufnahme).** Bei knapp versorgten Beständen, die frühzeitig die Triebreduktion abgeschlossen haben, oder in Trockengebieten, kann bzw. sollte die Spätdüngergabe in jedem Fall frühzeitig ausgebracht werden. Bei ausreichender Höhe des N-Angebotes ist auch bei frühen Düngungsterminen mit einer ausreichenden Proteinbildung und einer optimalen N-Verwertung zu rechnen. Wenn nach EC 37 die schwachen Triebe weitgehend abgestorben sind oder deutliche Absterbeerscheinungen zeigen und bei den kräftigen Trieben auf den unteren Blättern erste N-Mangelsymptome bzw. Aufhellungen (von den Blattspitzen her beginnend) sichtbar werden, sollte die Spätdüngergabe ausgebracht werden.

Nur in zu dichten Beständen mit schwachen Halmen, wenn nach einem sehr hohen N-Angebot während der Jugendentwicklung sehr viele Triebe gebildet und nur unzureichend reduziert wurden, kann ein früher Spätdüngungstermin den Lagerdruck erhöhen.

- 5.4 **Düngergaben nach dem Ährenschieben hatten zu Ertragsverlusten geführt.** Nachdem sich schon in der oben vorgestellten Versuchsserie abgezeichnet hatte, dass späte N-Düngergaben nicht mehr optimal wirksam werden und sogar zu Ertragsverlusten führen können, wurde diese Fragestellung in Versuchen zwischen 2001 und 2006 weiter bearbeitet. In der **Abb. 6** sind auszugsweise Ergebnisse dargestellt, die unterstreichen, dass es unter bestimmten Witterungsverhältnissen zu Ertragsverlusten kam, wenn ein Teil der N-Spätdüngermenge erst bei oder kurz nach Ende des Ährenschiebens ausgebracht wurde. Bei hohem N-Düngereinsatz (insgesamt 220 bzw. 238 kg N/ha), wurde einerseits eine hohe N-Spätdüngergabe, 110 bzw. 120 kg N/ha, in einer Gabe kurz vor Beginn des Ährenschiebens ausgebracht und in Vergleichsvarianten aufgeteilt auf 70 bzw. 80 kg plus 40 kg N/ha. Die späte Teilgabe wurde Ende des Ährenschiebens bzw. bei Blühbeginn ausgebracht. Wurde zu diesem späten Termin Kalkammonsalpeter eingesetzt, wurden 2003, 2004 und 2006 deutliche Ertragsverluste festgestellt. Wurde dagegen zum gleichen Termin Harnstoff anstelle von Kalkammonsalpeter eingesetzt, wurden kaum Ertragsverluste im Vergleich mit der einmaligen, früheren Düngung gemessen. Dass die nitratbetonte späte Düngergabe zu schlechteren Ergebnissen geführt hat, könnte evtl. daran gelegen haben, dass die Abreife durch eine Erhöhung des Cytokiningehaltes etwas verzögert wurde oder evtl. durch den erhöhten Energieaufwand, den die Pflanzen bei der Proteinbildung zu leisten hat.

## **6. N-Düngerformen: Bei optimaler Dosierung wurden nur geringe Unterschiede zwischen Kalkammonsalpeter, Harnstoff und ENTEC, aber deutlich geringere Wirkungsgrade von Ammonitriatharnstofflösung festgestellt. Kalkstickstoff in der Schossphase wirkte sich nicht positiv aus.**

Nach den Ergebnissen eines mehrjährigen Feldversuches, auf der Versuchsstation Roggenstein, war die Wirkung von den o.g. Düngern, die in fester Form eingesetzt wurden, vergleichbar. Nur bei der flüssigen Düngung mit Ammonitriatharnstofflösung (AHL), die mit der Pflanzenschutzspritze unverdünnt ausgebracht wurde, war die Wirkung wesentlich schlechter (**Abb. 7**). AHL wurde i.d.R. mit üblichen Düsen gespritzt. Bei der Ausbringung wurde darauf geachtet, dass die Blätter trocken waren und eine Wachsschicht gebildet hatten, um Blatt

Verätzungen zu vermeiden. Neben der Ausbringung mit den Pflanzenschutzdüsen wurde AHL auch mit s.g. Schleppschläuchen oder Mehrlochdüsen eingesetzt, ohne dass sich dadurch die Ertragsrelation verändert hat.

Wurde AHL nur beim ersten N-Düngungstermin, bei Vegetationsbeginn, eingesetzt und wurden dann bei den weiteren Düngungsterminen feste Dünger ausgebracht, waren kaum Unterschiede festgestellt worden, zwischen diesen Varianten und solchen bei denen ausschließlich feste Dünger eingesetzt wurden. Im Hinblick auf diese Ergebnisse und auch unter Berücksichtigung von aufgetretenen Jahrgangsunterschieden wird vermutet, dass bei der AHL-Düngung größere N-Verluste auftreten, wenn bei oder nach der Düngung höhere Temperaturen und trockenes, sonniges und strahlungsreicheres Wetter herrscht (in z.Zt. noch laufenden Versuchen wird daran gearbeitet, die Ursachen für die Verluste genauer zu erforschen).

In Versuchen zur Pilzkrankheitsbekämpfung wurde während der letzten beiden Jahre neben einer standardmäßigen N-Düngung mit Kalkammonsalpeter, in der Schossphase vergleichsweise Kalkstickstoff eingesetzt, um evtl. auftretende Nebenwirkungen auf die Pflanzengesundheit festzustellen. In Abhängigkeit von der Düngerform wurden weder statistisch abgesicherte Einflüsse auf den Krankheitsbefall noch auf die Ertragsleistung festgestellt. Ein leichtes „Aufhellen“ des Weizenbestandes, kurz nach der Düngung mit Kalkstickstoff, hat nur tendenziell zu leichten Ertragsverlusten geführt (bis zu ca. 2 %).

Angesichts dieser Ergebnisse sollte vor allem darauf geachtet werden, dass N-Angebot bedarfsgerecht zu steuern. Die Düngerform kann unter Berücksichtigung der Preiswürdigkeit des Nährstoffs gewählt und unter Berücksichtigung der Nährstoffdynamik eingesetzt werden.

## **7. Fazit - Die vorgestellte N-Düngestrategie kann an verschiedene Umwelten angepasst werden und hat sich in einem Vergleichsversuch bewährt.**

Die Ergebnisse eines Vergleichsversuches der von der bay. Landesanstalt, zwischen 1993 und 1996, an 6 verschiedenen Standorten durchgeführt wurde, zeigte dass eine optimale N Düngung bei genauer Beobachtung des Pflanzenbestandes unter allen Standortbedingungen möglich ist. In dem Vergleichsversuch schnitt das Pflanzenbeobachtungsmodell in 13 von insgesamt 15 geprüften Umwelten überdurchschnittlich ab, erzielte 5 mal die Ertragsspitze und lag nur 2 mal bei einem Relativvertrag von 99. Im Rahmen des Vergleichsversuchs hat sich somit gezeigt, dass die in Roggenstein ermittelten Fakten zur Optimierung der N-Düngung an verschiedene Wachstumsbedingungen angepasst werden können und eine N-Düngung unter Beachtung der Pflanzenentwicklung usw. zu besonders stabilen Erträgen, im Spitzenbereich, führen kann.

Im Durchschnitt der Versuchsserie sind nur geringe Unterschiede zwischen den geprüften N-Düngestrategien aufgetreten. Besonders gering waren die Unterschiede auf „guten“, tiefgründigen Lös-Lehmstandorten, in den Unterfränkischen bzw. Niederbayerischen „Gäulagen“. Auf eher „leichteren“ Standorten, bei denen der Boden weniger stark abpufferte, auf denen sich das N-Angebot z.T. etwas dynamischer veränderte (in Oberbayern u. Oberfranken), waren die Unterschiede größer. Hier hob sich das Pflanzenbeobachtungsmodell relativ stärker, positiv ab.

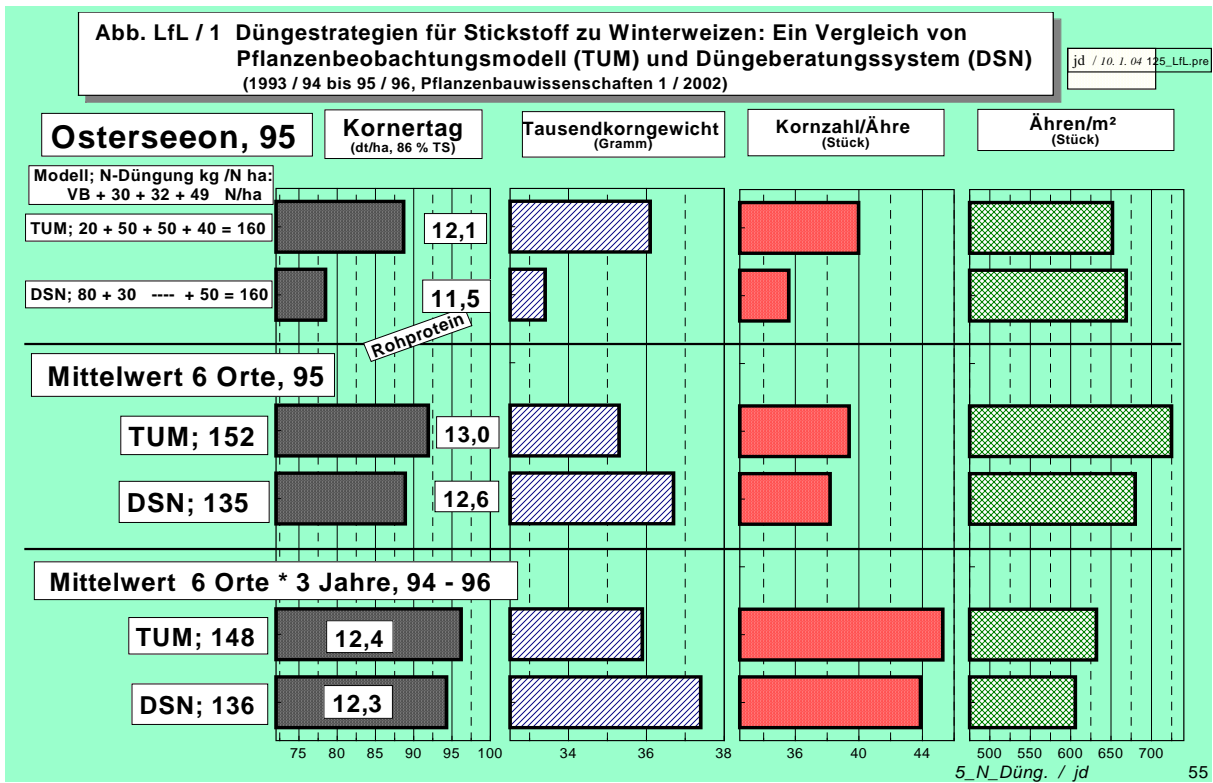
### **Düngestrategien für Stickstoff zu Winterweizen:**

**Ein Vergleich von Simulationsmodellen und Düngeberatungssystemen**  
(Pflanzenbauwissenschaften 1/02; U. Hege, F.-X. Maidl, J. Dennert, J. Liebler, K. Offenberger)

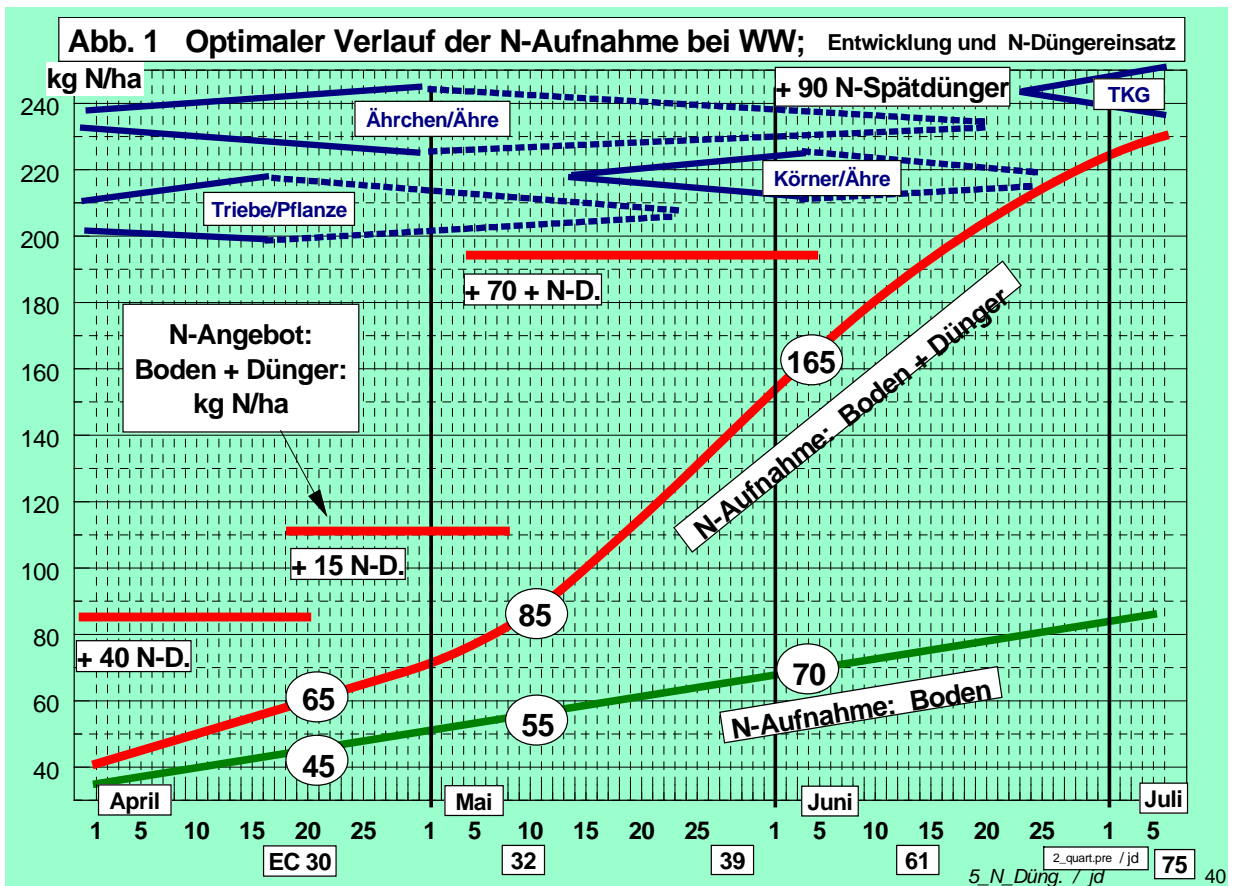
**Übersicht über die geprüften N-Düngungsstrategien, den N-Düngereinsatz (kg N/ha) und die prozentuale Verteilung, Kornertrag(dt/ha) und Rohprotein im Korn (%), (Mw.: 3 Jahre u. 6 bayer. Standorte, Contra)**

		kg N/ ha Gesamt	% VB	BBCH 30	BBCH 32	BBCH > 37	dt/ha Korn	% R.Prot.
<b>Expert-N</b>	Simulationsmodell	136	30	24	11	35	94,1	12,3
<b>Hermes</b>	Simulationsmodell	151	25	28	26	21	94,7	12,4
<b>TUM</b>	Pflanzenbeobachtungsm.	148	23	24	26	27	96,2	12,5
<b>DSN<sub>(N<sub>max</sub>)</sub></b>	Düngeberatungssystem	136	36	25	2	37	94,3	12,4
<b>EUF</b>	Düngeberatungssystem	174	39	27	0	34	94,8	12,7

127

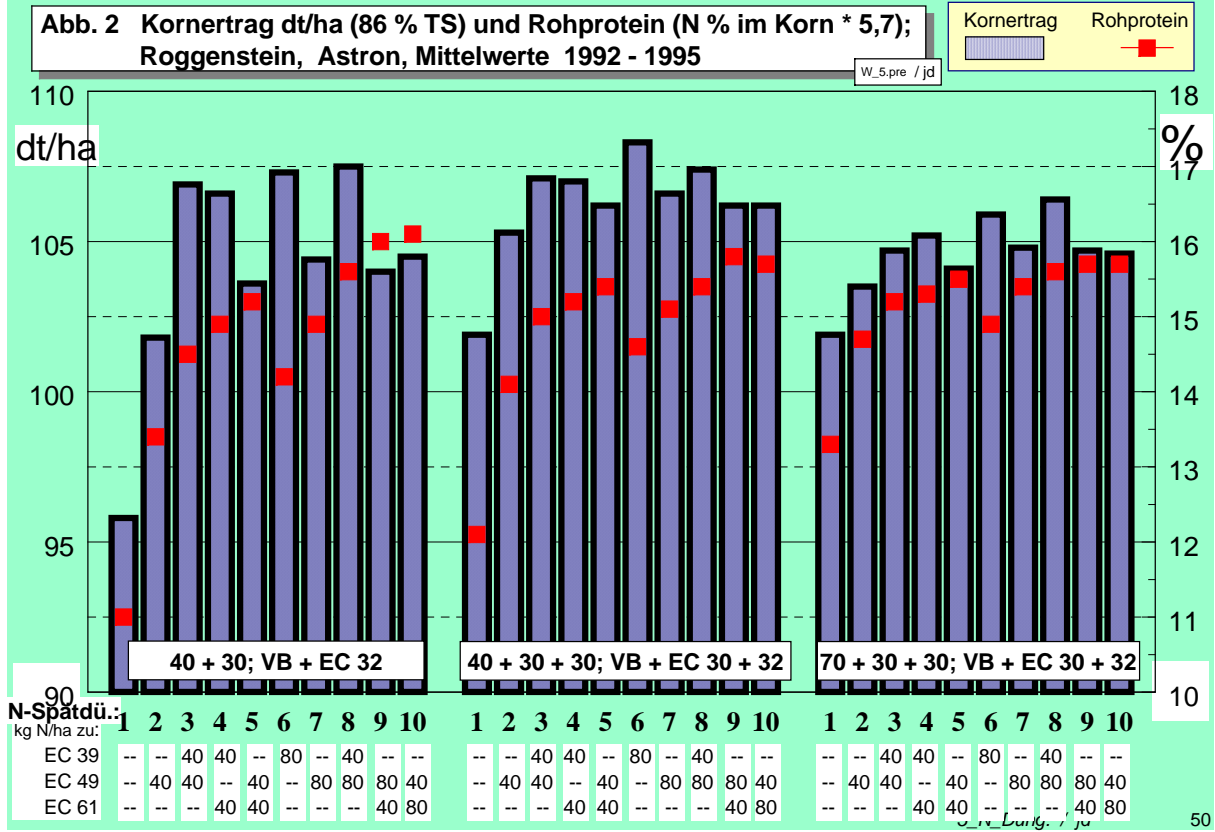


## 8. Abbildungen und Tabellen





**Abb. 2 Kornertrag dt/ha (86 % TS) und Rohprotein (N % im Korn \* 5,7); Roggenstein, Astron, Mittelwerte 1992 - 1995**



**Abb. 3 Kornertrag und Rohprotein, in Abhängigkeit von der N-Düngung, Astron 1992 - 1995**

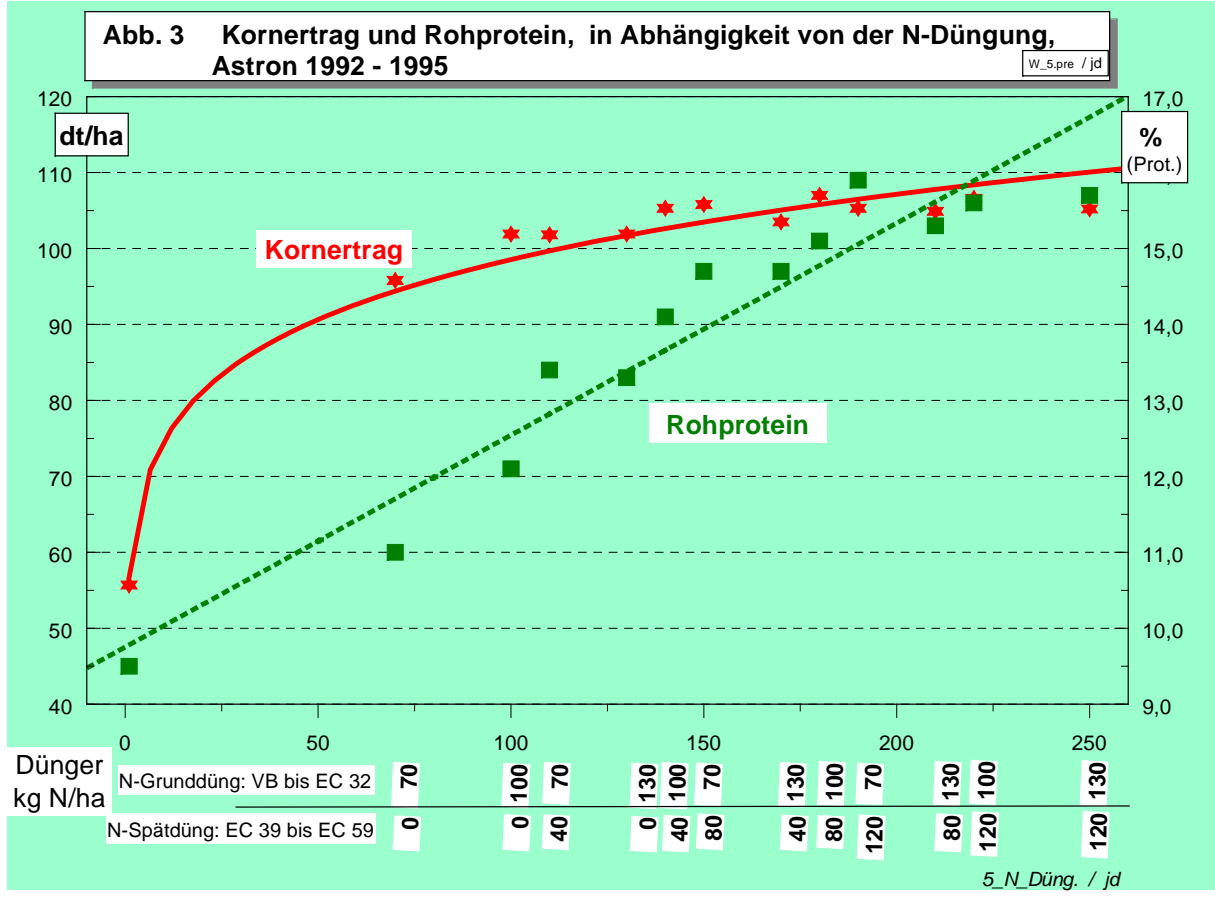


Abb 4 Ertragsstruktur: Astron, Roggenstein, Mittelwerte 1992 bis 1995

W<sub>5,pre</sub> / jd1

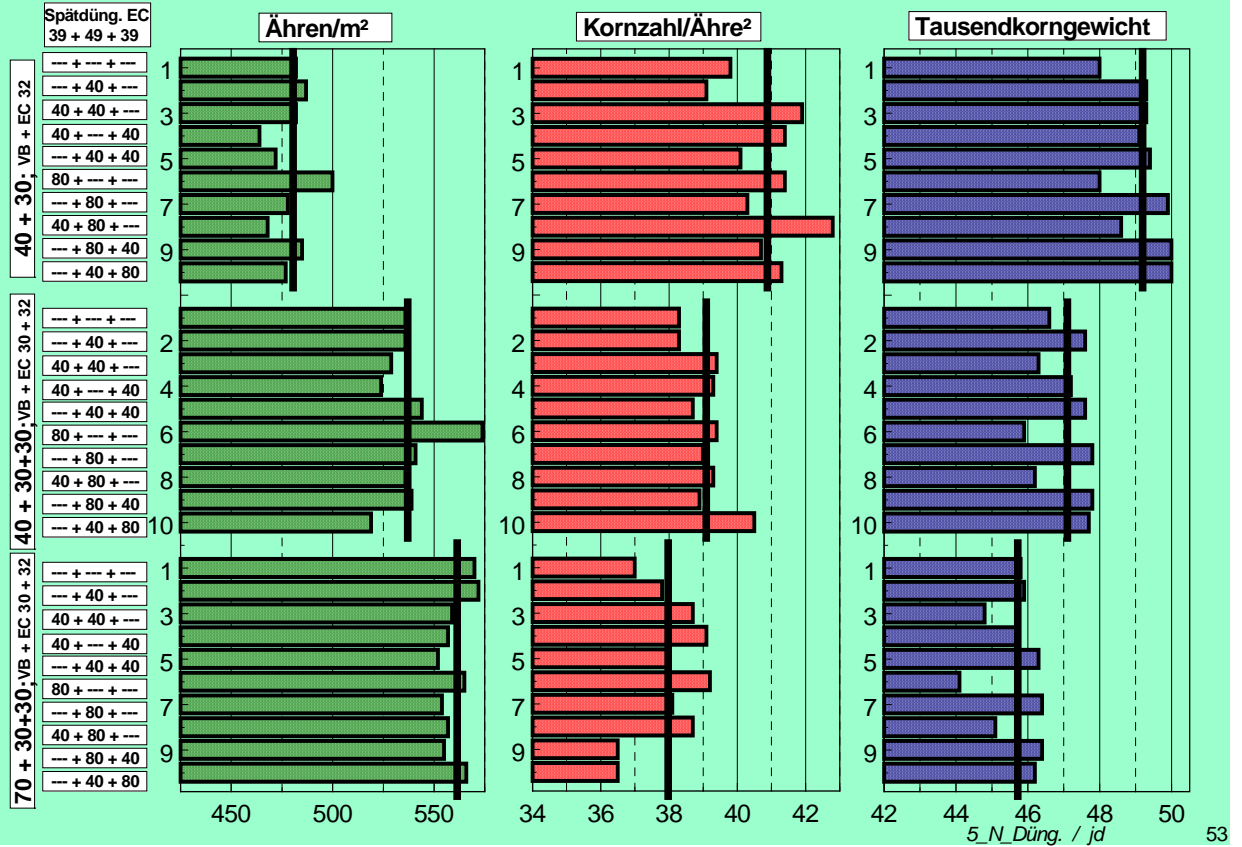
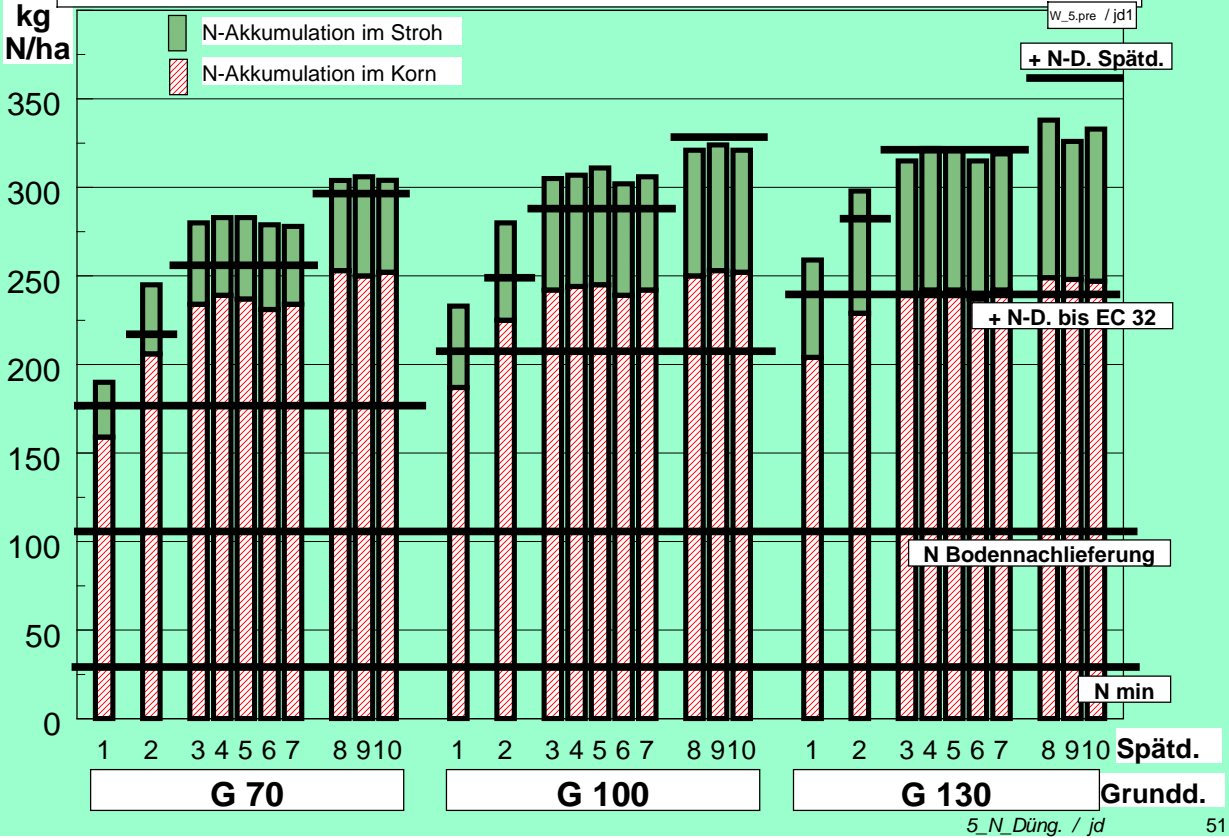
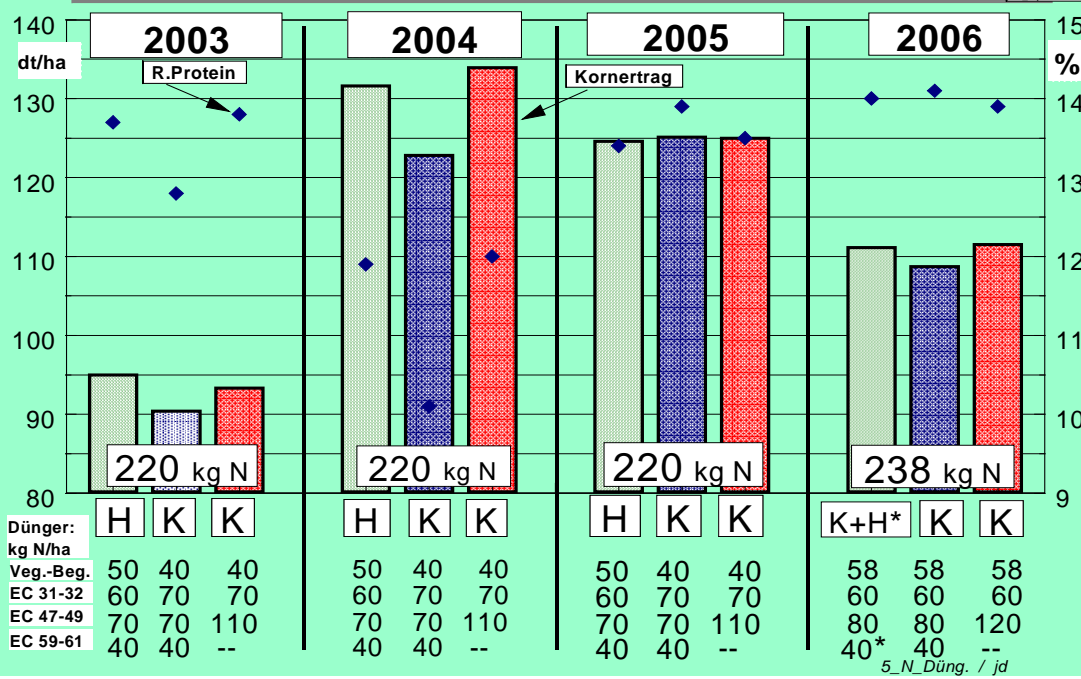


Abb. 5 N-Aufnahme und Verteilung auf Korn und Stroh; Mittelwert: 1992-95; Astron

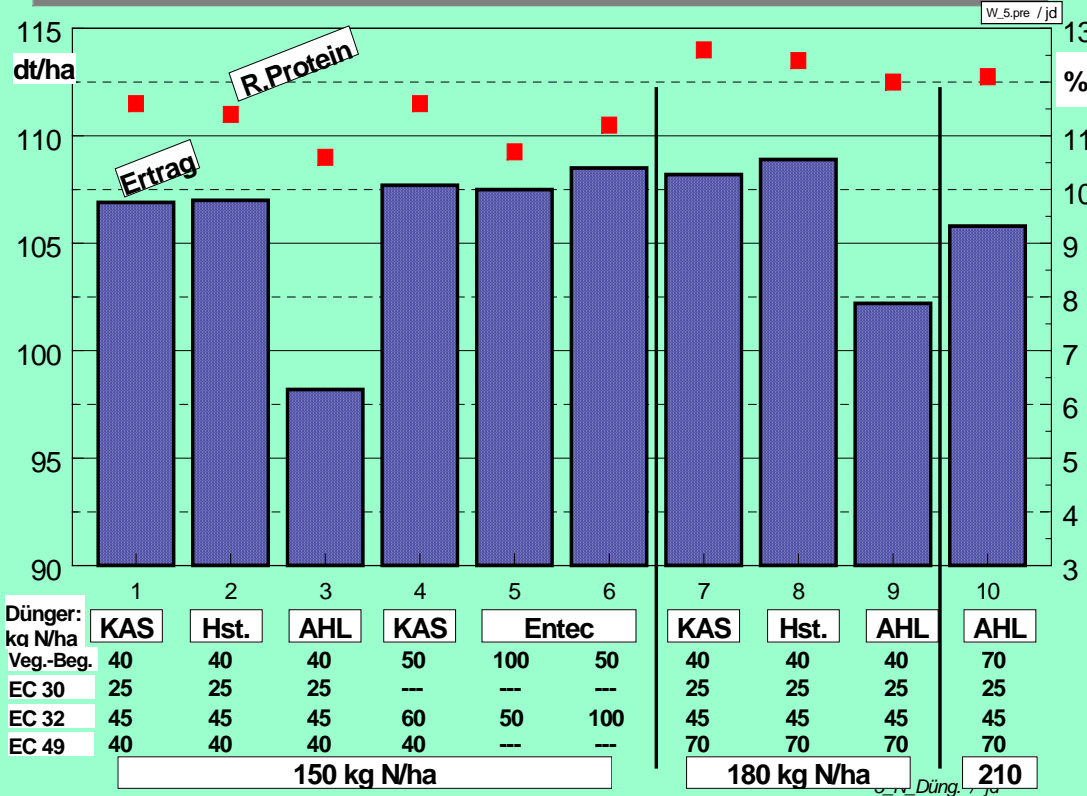
W<sub>5,pre</sub> / jd1



**Abb. 6 Kornertrag und Rohprotein, bei differenzierter N-Düngung, 2003 bis 2005 Tommi; 2006 Mittelwert Tommi / Schamane**



**Abb. 7 Kornertrag und Rohprotein; Batis, Roggenstein, Mittelwert 1999 - 2002**



## N-Düngung zu Winterweizen

N-Dosierung und Aufteilung an Pflanzenentwicklung anpassen,  
(Ergänzung zu Anbauverfahren ..... und N-Düngung ..... )

Johann Dennert

Weizenpflanzen – aufgenommen am 11. 2. 2007

später Saattermin am 26.10.2006, Akteur 340  
Körner/m<sup>2</sup>, entspr. 143 kg/ha



Roggenstein: [www.wzw.tum.de/pbz/rog\\_hist.htm](http://www.wzw.tum.de/pbz/rog_hist.htm) oder Dennert: [www.ackerbau-jd.info](http://www.ackerbau-jd.info) 12

normaler Saattermin am 1.10.2006, Akteur 240  
Körner/m<sup>2</sup>, entspr. 101 kg/ha



Roggenstein: [www.wzw.tum.de/pbz/rog\\_hist.htm](http://www.wzw.tum.de/pbz/rog_hist.htm) oder Dennert: [www.ackerbau-jd.info](http://www.ackerbau-jd.info) 10



Roggenstein: [www.wzw.tum.de/pbz/rog\\_hist.htm](http://www.wzw.tum.de/pbz/rog_hist.htm) oder Dennert: [www.ackerbau-jd.info](http://www.ackerbau-jd.info) 9

Am Versuchsstandort Roggenstein (Höhenlage ca. 500 m NN, ca. 25 km westlich von München), hat sich während der letzten Jahre ein Saattermin Anfang bis Mitte Oktober bewährt und deutlich höhere Erträge geliefert als Bestände die erst Ende Oktober gesät wurden.

Wurde Weizen Anfang Oktober gesät hat er bis Vegetationsbeginn im Durchschnitt der letzten Jahre einen kräftigen Nebentrieb mit ca. 3 Blättern und den 2. Nebentrieb mit 1 Blatt gebildet. Die bei Vegetationsbeginn vorhandene Treibzahl hatte somit annähernd der „Zielährenzah!“ entsprochen. Da sich solche Ausgangsbestände auch nach verhaltenen Anfangsdüngergaben (je nach den Boden-N-Mineralisierungsbedingungen: 30 und 50 kg N/ha) noch weiter bestockt hatten, wurde eine optimale Bestandesdichte, von ca. 500 bis 600 Ähren/m<sup>2</sup> immer erreicht.

Bei späten Saatterminen, die oft erst unter einer Schneedecke, während des Winters keimten, musste dagegen die Anfangsdüngergabe um ca. 30 kg N/ha erhöht werden um die Triebbildung anzuregen um so eine ausreichende Bestandesdichte zu erreichen.

Wurden während der Zeitspanne: Weizensaat bis Schossbeginn die positiven Temperaturen kumuliert errechnete sich im Durchschnitt der letzten 10 Jahre eine Summe von 736 Grad. Seit der Weizensaat, am 1. 10. 2006 und dem 1. Februar 2007 errechnete sich bereits eine Summe von 1015 Grad. Dass der Weizen trotz der extrem überhöhten Temperaturen noch nicht mit dem Schossen begonnen hat, liegt u.a. an der mangelnden Belichtung bzw. der Tageslänge während der Wintermonate.

Unter dem Einfluss der außerordentlich milden Spätherbst- und Winterwitterung hat der Weizen bis Anfang Februar nicht nur ca. 2 Triebe gebildet, so wie gewünscht, sondern oft mehr als 5. Weizenbestände die Ende Oktober gesät wurden haben in dieser Saison das Stadium erreicht, welches früher nur „normal Saaten“ erreicht hatten.

Bei der 1.-N-Düngung ist 2007 besonderes Fingerspitzengefühl notwendig, denn gut entwickelte Bestände dürfen nicht weiter „gemästet“ werden, sie sollten aber auch nicht zu stark „hungern“, um nicht die Ährenanlage zu gefährden. Um bei intensiv bestockten Beständen die Triebbildung nicht noch weiter zu steigern, ist es empfehlenswert die erste N-Düngergabe sehr knapp zu bemessen und den Termin evtl. etwas später anzusetzen. Konnten die Weizenpflanzen ein kräftiges Wurzelsystem anlegen, können sie das Boden-N-Angebot gut nutzen, so dass trotz knapper N-Düngung die Anlage einer hohen Ährchenzahl sichergestellt ist und eine vorzeitige Reduktion vermieden wird.

Weil gut bestockte Pflanzen mit einem optimalen Wurzelsystem jede N-Form gut aufnehmen, kann u.U. bevorzugt Ammonium-N-Dünger eingesetzt werden. Ammoniumdünger regen die Triebbildung weniger stark an, als Nitrat-Dünger.

Haben spät gesäte Weizenbestände erst mit der Bestockung begonnen und bis zum jetzigen Zeitpunkt nur schwache Wurzelanlagen, sollte die N-Düngergabe in der üblichen Höhe bemessen und bei günstigen Bedingungen, beim Einsetzen verstärktem Wachstums, ausgebracht werden.