

Landesanstalt für
Landwirtschaft,
Forsten und
Gartenbau

**Hinweise zur umweltgerechten
Düngung von Körner-, Silo- und
Energiermais**



SACHSEN-ANHALT

Landesanstalt für
Landwirtschaft, Forsten
und Gartenbau

Fachinformationen 2011

IMPRESSUM

Herausgeber: Landesanstalt für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau
Sachsen-Anhalt
Strenzfelder Allee 22
06406 Bernburg

Telefon: 03471/334 0
Fax: 03471/334 105
<http://www.llfg.sachsen-anhalt.de>
Poststelle@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de

Bearbeiter: Norbert Kuhlmann, Dezernat 24
Norbert.Kuhlmann@llfg.mlu.sachsen-anhalt.de

Veröffentlichung und Vervielfältigung (auch auszugsweise) bedürfen der Genehmigung des Herausgebers!

Redaktionsschluss: 01.04.2011

1	Einleitung	4
2	Gesetzliche Grundlagen der Düngung	5
3	Bodenuntersuchungen	5
3.1	Bestimmungen des pH – Wertes und des Gehaltes an Makro- und Mikronährstoffen	7
3.2	Bestimmung des N-min-Gehaltes im Boden	7
4	Relevante Nährstoffmangelsymptome bei Mais	8
5	Richtwerte für Nährstoffgehalte und Nährstoffentzüge von Silo- und Körnermais	12
6	Düngebedarfsermittlung und Düngung	14
6.1	Mineralische Stickstoffdüngung	14
6.2	Grunddüngung und Kalkung	17
6.2.1	Phosphordüngung, Unterfußdüngung	19
6.2.2	Kaliumdüngung	21
6.2.3	Magnesiumdüngung	22
6.2.4	Schwefeldüngung	22
6.2.5	Kalkdüngung	23
7	Mikronährstoffdüngung	26
8	Organische Düngung	28
8.1	Gülle und Jauche	31
8.2	Stalldung und Geflügelkot	32
8.3	Düngung mit Biogasgärresten	34
9	Einsatz von Nitrifikationshemmstoffe	35
10	Literaturverzeichnis	36

1 Einleitung

Mais ist eine der ältesten Kulturpflanzen der Welt und zählt neben Weizen und Reis zu den wichtigsten Nahrungspflanzen. In Deutschland ist diese Pflanze erst in der zweiten Hälfte des vorherigen Jahrhunderts heimisch geworden. Die Notwendigkeit der Rationalisierung in der Landwirtschaft und die Tendenz zum Ausbau der Veredelungswirtschaft machte die Maispflanze mit ihren mechanisierungsfähigen Anbaueigenschaften und deren vielseitigen Verwendungsmöglichkeiten zunehmend interessant. Mais als C₄-Pflanze nutzt die Sonnenenergie und das Wasser effektiver als unsere heimischen Kulturpflanzen zur Ertragsbildung. Der seitdem in Deutschland stetig steigende Anbau auf heute ca. 2,3 Millionen Hektar resultiert weniger aus der Nutzung als Körnermais für die menschliche Ernährung, sondern unter unseren klimatischen Bedingungen vor allem aus der Vorzüglichkeit der Maispflanze als Grund- und Krafftutter in der Rindermast, der Milchviehhaltung und Schweinefütterung. In jüngster Zeit nimmt die Bedeutung des Maises als nachwachsender Rohstoff und als Energieträger in Biogasanlagen rasant zu, was diesem weiterhin glänzende Zukunftsaussichten eröffnet.

In den vergangenen Jahrzehnten ist die in Südamerika beheimatete Kurztagspflanze, eigentlich eine an die Bedingungen in Äquatornähe gewöhnte Kulturpflanze, sehr stark züchterisch bearbeitet worden. Es kam zu einem erheblichen Anstieg der Gesamttrockenmasse- und Energieerträge und/ oder Verbesserung der Qualitätsparameter (Stärkegehalt- und ertrag, Verdaulichkeit usw.). Es wurden Fortschritte bei Sorteneigenschaften wie Frühreife, Standfestigkeit, Kälte- und Trockentoleranz sowie Jugendentwicklung erzielt.

Probleme bei der Ausweitung des Maisanbaues sahen Ökologen in den 90er Jahren bei der Erosionsanfälligkeit der Maisflächen, schlechter Nährstoffausnutzung durch langsame Jugendentwicklung und Überdüngung. Unter Berücksichtigung des heute bekannten Wissensstandes beim Maisanbau können zunehmend auch die Belange des Boden- und Gewässerschutzes berücksichtigt und Schäden vermieden werden.

Die Silomaisanbaufläche erhöhte sich in Sachsen-Anhalt in den letzten Jahren ebenfalls kontinuierlich, bei tendenziell steigenden aber stark schwankenden Erträgen und erreichte 2010 mit ca. 100 T Hektar (+20% zu 2009) einen bisher nicht gekannten Umfang (Abb. 1).

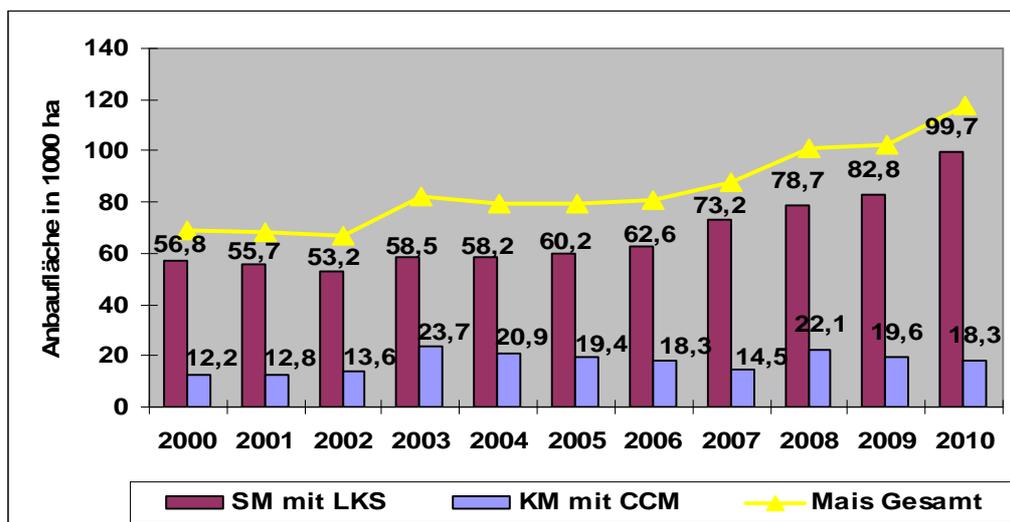


Abb. 1: Anbauumfang Mais in Sachsen-Anhalt

Seit dem Boom bei Biogasanlagen ab dem Jahr 2000 stieg der Silomaisanbau in Sachsen-Anhalt bis heute um mehr als 50 %, regional sicher auch deutlich stärker. Der rasante Anstieg der Anbaufläche ist nur der erheblichen Zunahme der Biogasanlagen geschuldet, da im Gegenzug die Milchkuhbestände in den letzten 10 Jahren um 20 % abnahmen. Der Rückgang der Silomaisanbaufläche bis zum Jahr 2002 konnte so durch die neue Nutzungsrichtung des Silomais als Koferment in Biogasanlagen gestoppt und umgekehrt werden.

Mais als Koferment zur Nutzung in Biogasanlagen ist derzeit weiterhin eine der wirtschaftlichsten Fruchtarten unter den landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Im Vergleich mit anderen Kofermenten erreicht Mais aufgrund seiner hohen Massebildungsfähigkeit (> 400 dt/FM je ha) und der mittleren Gasausbeute von 0,6 m³/kg oTS, auch unter den Trockenbedingungen in Sachsen-Anhalt hohe Methanhektarerträge.

Körnermais dagegen hat vielseitige Verwendungsmöglichkeiten in der Erzeugung von Nahrungs- und Futtermitteln, in der Stärkeproduktion und als Energiepflanze. In Sachsen-Anhalt hat Körnermais im Vergleich zu Silomaisanbau bisher eine untergeordnete Anbaubedeutung. Seine höheren Ansprüche an Wasserversorgung, Temperatur und Reifezeit begrenzten den Anbau. Mit ertragreicheren, dem Standort angepaßteren Sorten stieg in den letzten Jahren jedoch das Interesse am Körnermaisbau, was sich in einer tendenziellen Zunahme der Anbaufläche widerspiegelt.

2 Gesetzliche Grundlagen der Düngung

Die Düngung von Kulturpflanzen ist eine der ältesten Maßnahmen, die die Bauern zur Ertragssicherung und Ertragssteigerung im Ackerbau bereits in früheren Jahrhunderten mit den ihnen zur Verfügung stehenden organischen Düngern, wie Jauche, Stallung und Fäkalien durchführten.

Aber erst mit der Möglichkeit mineralische Dünger ergänzend oder allein einzusetzen, sowie mit dem Wissen über eine standortangepasste zeitlich bedarfsgerechte Düngung der Kulturen, gelang der Durchbruch bei der Steigerung der landwirtschaftlichen Produktion.

Mit dem in den letzten Jahrzehnten gewachsenem Umweltbewusstsein in der Bevölkerung werden heute alle Maßnahmen in der Produktionskette die nur den Ertrag steigern, auf ihre Umweltverträglichkeit geprüft und speziell der mögliche ungenutzte Stoffaustrag durch Überdüngung wird kritisch gesehen und es wird umweltverträglich gegengesteuert. Schon geringe Abweichungen von der Düngung nach „Guter fachlicher Praxis“ können aber zu erhöhten Stoffausträgen im Produktionsprozess führen und die Umwelt belasten.

„Gute fachliche Praxis“ der Düngung, in der Düngeverordnung veröffentlicht, beinhaltet deshalb heute, dass die Düngung nach Art, Menge und Zeit auf den Bedarf von Pflanze und Boden abgestimmt ist. Berücksichtigt werden die im Boden verfügbaren Nährstoffe und organischen Substanzen sowie die Standort- und Anbaubedingungen. Weiterhin richtet sich der Nährstoffbedarf der Pflanze nach dem möglichen Ertrag am Standort und den Qualitätsanforderungen. Um diese Vorgaben umzusetzen, werden dem Landwirt durch die Wissenschaft spezifische Richtwerte der Düngung, Pflanzenernährung und Bodenuntersuchung zur Verfügung gestellt und vom Gesetzgeber darauf aufbauend eine Reihe Empfehlungen, Richtlinien, Verordnungen und Gesetze vorgegeben.

Die gesetzlichen Grundlagen für die Ausbringung von Dünger und Sekundärrohstoffen auf landwirtschaftlich genutzten Flächen bilden z.B. nachfolgend aufgeführte Gesetze und Verordnungen in deren aktuellsten Fassungen:

- Düngegesetz
- Kreislauf-, Wirtschafts- und Abfallgesetz
- Klärschlammverordnung
- Bioabfallverordnung
- Düngeverordnung

3 Bodenuntersuchungen

Im §3 der Düngeverordnung ist geregelt, dass vor der Ausbringung von Düngemitteln u. a. Stoffen mit wesentlichen N- oder P- Mengen (mehr als 50 kg N oder 30 kg P₂O₅/ha u. Jahr), der Düngebedarf der Kultur für jeden Schlag oder jede Bewirtschaftungseinheit, unter Berücksichtigung der Erhaltung der standortbezogenen Bodenfruchtbarkeit, sachgerecht festzustellen sei. Ein Gleichgewicht zwischen Nährstoffbedarf (nach Ertrag und Qualität) und Nährstoffversorgung (verfügbare Nährstoffe, Humus- und Kalkgehalt, Bodenreaktion (pH-Wert), Anbaubedingungen) ist zu gewährleisten. Die Ergebnisse regionaler Feldversuche sollen herangezogen werden. Lediglich für Phosphat besteht eine Bodenuntersuchungspflicht:

Der Landwirt sollte bzw. muss aus produktionstechnischen bzw. wirtschaftlichen Gründen die chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften (Nährstoffgehalt, pH-Wert, Korngröße u. a.) der zu bewirtschaftenden Böden, Pflanzen und Düngemittel kennen bzw. bestimmen lassen. Die Ermittlung dieser Eigenschaften erfolgt durch entsprechend ausgerüstete Labore, welche nach den in Tabelle 1 aufgeführten wissenschaftlich anerkannten Methoden arbeiten.

Tab. 1: Untersuchungsmethoden zur Bestimmung des Gehalts an pflanzenverfügbaren Nährstoffen und des pH-Wertes

Parameter	Untersuchungsmethode
Stickstoff	N _{min} -Methode
Schwefel	S _{min} -Methode
Phosphor	DL- oder CAL-Methode
Kalium	DL- oder CAL-Methode
Magnesium	CaCl ₂ -Methode
pH-Wert	CaCl ₂ -Methode
Bor	CAT-Methode oder Heißwasserextraktion nach BERGER und TRUOG
Kupfer	CAT-Methode oder HNO ₃ -Methode nach WESTERHOFF
Mangan	CAT-Methode oder Sulfit-pH-8-Methode nach SCHACHTSCHABEL
Molybdän	CAT-Methode oder Untersuchungsmethode nach GRIGG
Zink	CAT-Methode oder EDTA-Methode nach TRIERWEILER u. LINDSAY

Quelle: Holz „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung“ - verändert

Der Aussagewert eines Untersuchungsergebnisses und damit die Genauigkeit der darauf beruhenden Düngeempfehlungen werden entscheidend durch die Probenahme beeinflusst. Fehler die hierbei gemacht werden sind in der Regel nicht mehr zu korrigieren. Wie eine korrekte Probenahme im Einzelfall erfolgen sollte, ist für jeden Landwirt in der Schriftenreihe der LLFG Sachsen-Anhalt, „Fachinformationen – Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemittel“ als eine Zusammenstellung von Probenahmerichtlinien nachzuschlagen und wird deshalb in dieser Broschüre nur auszugsweise abgehandelt.

Die Einstufung der Böden in Bodengruppen erfolgt nach Tongehalt (%) oder Feinanteil (%) (siehe Tabelle 2). Da die Bodeneigenschaften die Nährstoffdynamik wesentlich beeinflussen, sind sie bei der Bewertung der Bodenuntersuchungsergebnisse und der Ableitung von Düngeempfehlungen zu berücksichtigen.

Das hierfür benötigte erweiterte Zuordnungsschema und die Probenahmerichtlinie können in ihrer Vollständigkeit auch auf der Internetseite der LLFG (www.llfg.sachsen-anhalt.de) eingesehen werden.

Tab. 2: Zuordnungsschema zu Bodengruppen nach VDLUFA

Boden gruppe	Tonanteil % < 0,002 mm	Feinanteil % < 0,006 mm	Bodenartengruppe / vorwiegende Bodenart	Symbol	Bezeichnung
BG 1	≤ 5	≤ 7	Sand	S	leichte
BG 2	> 5 - 12	> 7 - 16	schwach lehmiger Sand	I'S	Böden
BG 3	> 12 - 17	> 16 - 23	stark lehmiger Sand	IS	
BG 4	> 17 - 25	> 23 - 35	sandiger bis schluffiger Lehm	sL/uL	Böden
BG 5	≤ 25 > 25 - 35 > 35 - 45 > 45 - 65 > 65	> 35	toniger Lehm bis Ton schwach toniger Lehm toniger Lehm lehmiger Ton Ton	t'L tL IT T	schwere Böden
BG 6			Anmoor (Böden mit 15 bis 30 % org. Substanz) Moor (Böden mit > 30 % Humus)	Mo	

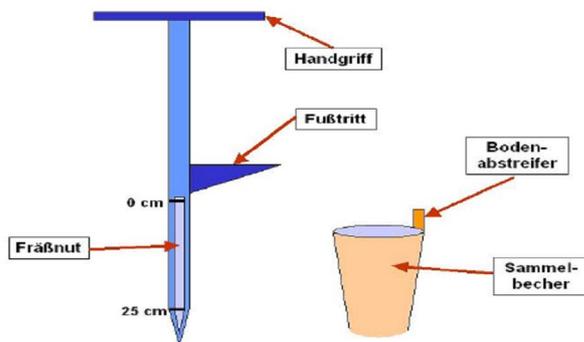
Legende: Feinanteil = Ton + Feinschluff;¹⁾ Böden der BG 4 gelten in manchen Bundesländern als schwere Böden

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

3.1 Bestimmungen des pH-Wertes und des Gehaltes an Makro- und Mikronährstoffen

Für die Berechnung von Grunddüngungsempfehlungen sollte aus fachlicher Sicht alle drei bis sechs Jahre (besser 3 bis 4 Jahre) im Rahmen der Fruchtfolge die Ermittlung des Nährstoffversorgungszustandes des Bodens und der Bodenreaktion erfolgen. Bestimmt werden sollte der Gehalt der Grundnährstoffe Phosphor (alle 6 Jahre besteht nur hier Bodenuntersuchungspflicht), Kalium, Magnesium sowie der pH-Wert und auch der Gehalt der für Mais relevanten Mikronährstoffe Bor, Kupfer, Mangan und Zink.

Die Probenahme erfolgt möglichst immer zur gleichen Kultur innerhalb einer Fruchtfolge vor einer mineralischen oder organischen Düngung. Die Bodenprobe kann im Herbst nach Ernte der Hauptkultur, oder besser im frostfreien Frühjahr z. B. vor Bestellung des Maises gezogen werden. Die Mischprobe wird aus 20 bis 30 Einstichen bei einer Krumentiefe von 20 bis 30 cm gewonnen. Eine Endprobe sollte ca. 500 g Boden von einer Mischprobe beinhalten und in einem wasserfesten beschrifteten Beutel verpackt sein. Bei der Grundbodenuntersuchung zum Einsatz kommende Werkzeuge zeigt die Abbildung 2.



(Quelle, „Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln“)

Vor der Beprobung erfolgt die Einteilung des Schlages in 3 - 5 ha große homogene Probenahmeflächen. Diese sind Zwecks Wiederholbarkeit in Übersichtskarten oder Probenahmeskizzen mit Begehungsrichtung darzustellen. Die Beprobung erfolgt im Zick-Zack-Gang oder diagonal. Oft werden heute die Proben mit Geländewagen oder sonstigen geeigneten Fahrzeugen, ausgerüstet mit Probestecker und GPS-

Abb. 2: Bodenprobenahmegeräte

Ausrüstung genommen, die Position und die gewonnenen Daten in entsprechenden Geoinformationssystemen verarbeitet. Vertiefende Fachinformationen hierzu sind der Infobroschüre „Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln“ des Landes Sachsen-Anhalt zu entnehmen.

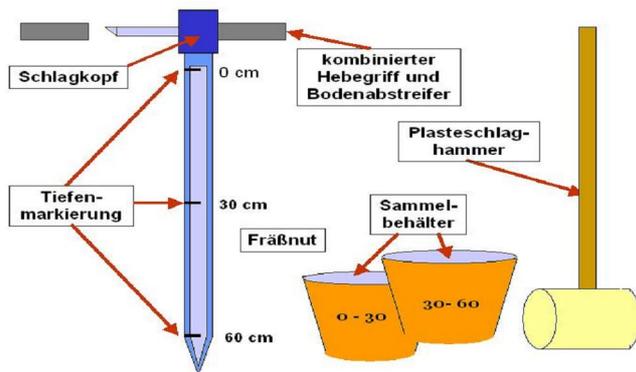
Bodenuntersuchung auf Mikronährstoffe

Mittlerer Bedarf des Maises liegt vor allem bei Bor, Kupfer, Mangan und Zink vor. Deshalb ist die Bodenuntersuchung auf Mikronährstoffe zu Mais eher die Ausnahme und sollte hauptsächlich zu bedürftigen Kulturen im Abstand von 2 bis 3 Bodenuntersuchungszyklen erfolgen. Eine Pflicht zur Bodenuntersuchung auf Mikronährstoffe besteht nicht. Die Bedeutung der Mikronährstoffdüngung nimmt im Ackerbau aber mit steigender Intensität der Bewirtschaftung und sinkendem Einsatz organischer Dünger zu. Die Düngung erfolgt bei Bedarf hauptsächlich in Form von Blattdüngung,

3.2 Bestimmung des N-min-Gehaltes im Boden

Grundlage für die Festsetzung des N-Düngebedarfes zu Mais ist die Kenntnis der Höhe des ertragsabhängigen Nährstoffentzuges sowie die Ermittlung des leicht löslichen Bodenstickstoffes ($\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$) z.B. über die N_{min} -Untersuchung. Da der Stickstoff im Boden einer regen Dynamik unterliegt, schwankt er in Abhängigkeit von Faktoren wie Jahreszeit, Standort- und Bewirtschaftungsbedingungen erheblich. Die Menge des verfügbaren Bodenstickstoffes, die Tiefenverteilung und die damit zu erwartende Nachlieferung aus dem Boden sind für die Düngeplanung zu ermitteln und zu berücksichtigen.

Die Beprobung der frostfreien Flächen erfolgt vorzugsweise erst im Frühjahr bis max. 8 – 10 Tage vor dem Düngungstermin mit in Abbildung 3 dargestellten Probenahmegeräten.



Die heute verbreitete mechanisierte Probenahme erfolgt immer öfter mit auf Geländewagen, Traktor oder Quad montierten Probenahmestechern. Bei Mais kann das N_{\min} -Ergebnis aus der Bodenprobe, auch zur Präzisierung einer möglichen 2. N-Gabe Ende Juni genutzt werden. Da aber hauptsächlich organischen Dünger (Gülle) vor der Maisaussaat ausgebracht werden, wird die notwendige mineralische Ergänzungsdüngung daraus berechnet.

(Quelle: Fachinformationen „Probenahmerichtlinie“)

Abb. 3: Bodenprobenahmegeräte für N-min

Beachtet werden muss, dass der N_{\min} -Gehalt i.d.R. umso höher ist:

- je später die Beprobung erfolgt, da die Mineralisation stark einsetzt,
- je höher der Gehalt des Bodens an organischer Substanz ist,
- je höher die organische Düngung im aktuellen und im Vorjahr war.

Es erfolgt bei der Probenahme eine getrennte Erfassung und Untersuchung der Bodenschichten 0 bis 30 cm und 30 bis 60 cm, eine Beprobung der dritten Bodenschicht (60 bis 90 cm) ist bei Mais nicht notwendig. Bei der Schlageinteilung, Dokumentation und Technik der Probenahme gelten die gleichen Hinweise wie bei der Probenahme zur Makronährstoffbestimmung. Bei homogenen Schlägen mit ständig gleicher Fruchtfolge wird ein Teilstück mit einer Größe von 2-5 ha zur Beprobung ausgewählt (ohne Vorgewende, Senken und Kuppen).

Die mit jeweils mindestens 20 Einstichen erzeugten schichtbezogenen Teilproben werden dann als Sammelproben mit einer Masse von 300 bis 500 g in Plastikbeutel abgefüllt und bis zur Untersuchung kühl (+1 bis +4°C) gelagert. Vertiefende Fachinformationen hierzu sind der Infobroschüre - „Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln“ - des Landes Sachsen-Anhalt zu entnehmen.

Alternativ zur N-min Methode der Stickstoffbedarfsermittlung lässt der Gesetzgeber auch die Übernahme von Untersuchungsergebnissen vergleichbarer Standorte, herausgegeben von der staatlichen Beratung, zu oder gestattet die Schätzung der im Boden verfügbaren Nährstoffmengen nach fachspezifischen Vorgaben (Richtwerte siehe Internetseite: www.llfg.sachsen-anhalt.de). Bei Verdacht auf Schwefelmangel kann aus der Probe für die Bestimmung des N-min-Gehaltes dieser ebenfalls ermittelt werden.

4 Relevante Nährstoffmangelsymptome bei Mais

Nährstoffmangel führt bei Mais zu Entwicklungsstörungen, verringerten Erträgen und schlechten Qualitäten. Die Symptome können vielfältig sein, haben verschiedenste Ursachen und treten an allen Organen der Pflanze auf, wobei selten der gesamte Schlag betroffen ist. Ertragsmindernde Veränderungen an der Maispflanze müssen schon frühzeitig während des Jugendwachstums erkannt werden, um noch gezielt kulturwirksam gegensteuern zu können. Eine sichere Ermittlung der Ursachen von Wachstumsdepressionen gelingt nur durch visuelle Schadsymptomdiagnose in Verbindung mit der chemischen Boden- und Pflanzenanalyse. Mit der Bodenuntersuchung werden Pflanzenschäden durch Bodenversauerung und Nährstoffunterversorgung erkannt, die Analyse des grünen Pflanzenmaterials erlaubt gezielt eine Aussage zum Ernährungs- und Gesundheitszustand der Kultur. Verwechslungen mit

Schäden aus Herbizidanwendung, Pflegegeräteinsatz, Schädlingsbefall und Witterung können durch die komplexe Betrachtung dann nahezu ausgeschlossen werden.

Stickstoffmangelsymptome



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 4: Stickstoffmangel

Ursachen:

- saure, sandige oder humusarme unterversorgte Böden
- ausgeprägte Trockenheit mit/ ohne Unkrautkonkurrenz

Symptome:

- hellgrüne schwache Pflanze
- verzögertes Wachstum, geringe Wuchshöhe
- in Richtung Blattgrund keilförmige Vergilbungen und Vertrocknungen
- Absterben der Blätter, Körner verdreht,
- unregelmäßig ausgebildete Kornreihen

Phosphormangelsymptome



Quelle: KWS/ Maisanbauplane

Abb. 5: Phosphormangel

Ursachen:

- stark saurer Boden (pH < 5) bzw. stark alkalischer Boden (pH > 7,5)
- Einschränkung der Phosphataufnahme aus der Bodenlösung durch Nässe, Kälte, Trockenheit und Bodenverdichtung
- geringe P-Gehalte im Boden

Symptome:

- rötliche bis violette Verfärbungen an Stängel und älteren Blättern
- im Extremfall ein Eindrehen und Absterben der Blätter von der Spitze aus
- geringe Wurzelmasse mit daraus resultierender Wachstumsverzögerung
- mangelhaft ausgebildete Körner in der Spitze,
- Abreifeverzögerung !!

Kaliummangelsymptome

Symptome:

- verkürzte Internodien
- ältere Blätter anfangs bläulich-grün, später braunrote Verfärbung
- Verkrümmung, Einrollen der Blätter
- streifige bis flächige Vergilbungen von Spitze und Rändern, dann absterben dieser

Ursachen:

- Bodenverdichtungen
- Trockenheit
- Standorte mit Kalifixierung (anmoorige Böden, tonreiche Böden)



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 6: Kaliummangel

Magnesiummangelsymptome



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 7: Magnesiummangel

Symptome:

- erst an älteren Blättern Aufhellungen mit weißbraun-streifigen Nekrosen zwischen den grünen Blattadern,
- später weißbraune Verfärbungen der Blattspitzen- und rändern, oft verbunden mit rötlichen Verfärbungen
- letztlich Absterben der Blätter

Ursachen:

- leichte, sandige und saure Böden,
- Bodenverdichtung, Trockenheit auf schweren Böden
- keine oder geringe organische Düngung

Schwefelmangelsymptome



Quelle: K + S Kali GmbH

Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb.: 8: Schwefelmangel:

Symptome:

- rötliche Verfärbungen an den Blatträndern
- auch am Stängel rötliche Färbung bis hin zu Vergilbungen
- Chlorosen
- Kolbenausbildung verzögert, Spindel unregelmäßig mit Körner besetzt

Ursachen:

- saure Böden
- verdichtete Bodenhorizonte
- keine organische Düngung
- Auswaschung auf leichten, sandigen Böden
- Fruchtfolgen mit hohem Schwefelentzug

Kalkmangelsymptome

Symptome:

- Schnurartige, grau-weiße, dunkel umrandete Flecken an Stängel und Blatt
- Blattrand und Innenblattnekrosen
- Kolbenausbildung verkümmert
- ältere Blätter mit von den Rändern ausgehend Rotverfärbungen

Ursachen:

- saure Böden mit nur mäßiger Verfügbarkeit der Nährstoffe



Quelle: Bayer/ Leitfaden erfolgreicher Maisanbau

Abb. 9: Kalkmangel

Bormangelsymptome



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 10: Bormangel:

Symptome:

- Internodien verkürzt, Austrieb neuer Sprosse aus den Blattachsen
- Streifige Nekrosen an älteren und jüngeren Blättern
- Verdrehungen, Einrollungen und Kräuselungen der Blätter- Absterben
- Mangelhafte, unregelmäßige Befruchtung, leere Kolbenspitzen, gekrümmter Kolben, unterschiedliche Korngrößen

Ursachen:

- saure Böden (pH<5,5), alkalische Böden (pH>7,5),
- humusreiche sandige Böden

Achtung!: Symptome können mit Wassermangel verwechselt werden

Manganmangelsymptome

Symptome:

- mittlere bis jüngste Blätter heller, mittig mit fleckigen nicht durchgehend gelbgrünen chlorotischen, später nekrotischen Streifen
- jüngste Blätter kommen blassgrün aus der Blattscheide
- Kolbenentwicklung unterdrückt

Ursachen:

- Trockenheit
- Niedermoorböden, humose Sande
- stark alkalische Böden



Quelle: K + S Kali GmbH

Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 11: Manganmangel

Achtung!: Symptome sehen denen von Magnesiummangel ähnlich, Verwechslungsgefahr!!

Tab. 3: Nährstoffgehalte von Silomais und Corn-Cob-Mix

Kultur	Ernteprodukt Rohproteingehalt	TS in FM %	HNV ¹⁾ 1 :	Nährstoffgehalt in kg/dt Frischmasse						
				N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	MgO
Silomais	Ganzpflanze	28	-	0,38	0,07	0,16	0,37	0,45	0,07	0,11
Corn-Cob-Mix (CCM)	Kolben + (Lieschblätter)	60	-	1,00	0,22	0,50	0,33	0,40	0,12	0,20
	Stroh	60	-	0,90	0,09	0,21	1,66	2,00	0,15	0,25
	Kolben + (Lieschblätter) + Stroh	-	1,0	1,90	0,31	0,71	1,99	2,40	0,27	0,45

¹⁾ HNV = Haupternteprodukt (marktfähige Ware) zu Nebenernteprodukt (Ernterückstand)

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Tab. 4: Nährstoffgehalte von Körnermais

Kultur	Ernteprodukt Rohproteingehalt	TS in FM %	HNV ¹⁾ 1 :	Nährstoffgehalt in kg/dt Frischmasse						
				N	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	MgO
Körnermais	Korn (10 % RP)	86	-	1,38	0,35	0,80	0,42	0,51	0,12	0,20
	Stroh	86	-	0,90	0,09	0,21	1,66	2,00	0,15	0,25
	Korn + Stroh ²⁾	-	1,0	2,28	0,44	1,01	2,08	2,51	0,27	0,45
	Korn (11 % RP)	86	-	1,51	0,35	0,80	0,42	0,51	0,12	0,20
	Stroh	86	-	0,90	0,09	0,21	1,66	2,00	0,15	0,25
	Korn + Stroh ²⁾	-	1,0	2,41	0,44	1,01	2,08	2,51	0,27	0,45

¹⁾ HNV = Haupternteprodukt (marktfähige Ware) zu Nebenernteprodukt (Ernterückstand)

²⁾ Nährstoffgehalt Haupternteprodukt (marktfähige Ware) und Nebenprodukt (Ernterückstand) bezogen auf das Hauptprodukt (marktfähige Ware)

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Tab. 5: Gehalte an Spurenelementen bei Mais

	Mengelemente (g/kg TS)						Spurenelemente mg/kg TS)					
	N	Na	K	Mg	Ca	P	S	Fe	Mn	Co	Cu	Mo
Ganzpflanze ¹⁾	14	0,4	17,8	2,7	4,5	2,2	2,7	184	29	65	4,4	0,3
Körner	17	0,1	3,6	1,7	0,3	3,2	1,2	30	6	70	3,4	0,2

¹⁾ Milchreife

Quelle: Leitfaden – „Erfolgreicher Maisanbau“, Bayer CropScience

Da in Abhängigkeit von den standortspezifischen Gegebenheiten (z.B. Nährstoffverfügbarkeit in Abhängigkeit von Boden und Witterung) die Ertragserwartungen auch in Sachsen-Anhalt sehr schwankend sein können, werden die in Tabelle 6 aufgeführten Entzüge in breiteren Spannen angegeben (siehe Tab. 6), gleiches gilt dann für die erforderlichen Düngermengen.

Tab. 6: Durchschnittlicher Nährstoffentzug bei Silo- und Körnermais in kg/ha

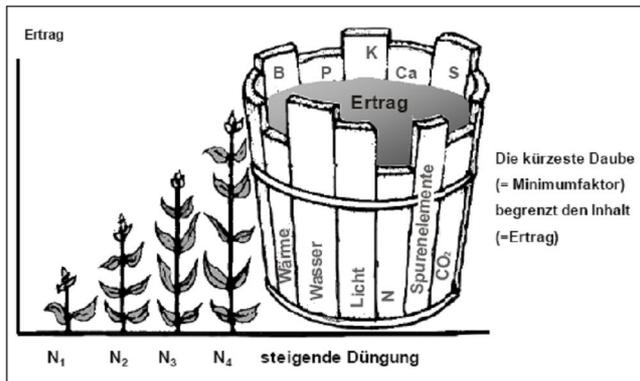
Nährstoff	Silomais (28 % TS) je 100 dt Frischmasse	Körnermais (86 % TS)	
		Körner (10 dt)	Stroh (10 dt)
Stickstoff (N)	30 - 40	12 - 16	5 - 9
Phosphat (P ₂ O ₅)	15 - 25	6 - 11	5 - 7
Kalium (K ₂ O)	35 - 50	4 - 6	15 - 25
Magnesium (MgO)	7 - 13	2 - 3	2 - 4
Kalk (CaO)	10 - 18	2 - 3	5 - 7
Schwefel (S)	3 - 5		

Quelle: nach Fruchtenicht et al., 1993

6 Düngbedarfsermittlung und Düngung

Grundsatz

Düngen heißt, zu den im Boden meist nur in ortsüblicher Konzentration bereits vorhandenen Nährstoffen weitere zur optimalen Entwicklung der Pflanzen und/oder zur Verbesserung der Bodeneigenschaften benötigte Mineralstoffe, hinzuzufügen. Die Höhe des Pflanzenertrages wird nach „Liebig“ von dem Wachstumsfaktor maßgeblich bestimmt, welcher der Pflanze

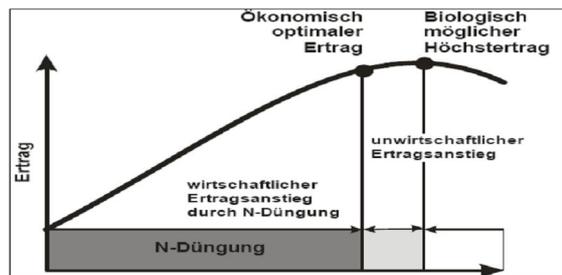


Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Abb. 14: Gesetz vom Minimum (nach LIEBIG)

begrenzen. Die ökonomische Grenze ist hiernach dann erreicht, wenn die letzte Einheit Dünger durch den Wert des Ertragszuwachses gerade noch abgedeckt ist. Die Abbildung 15 zeigt am Beispiel der N-Düngung den Zusammenhang zwischen Düngungshöhe und Pflanzenertrag. Beim ökonomisch optimalen Ertrag ist die N-Düngungshöhe so bemessen,

verhältnismäßig am geringsten zur Verfügung steht (Minimumtonne, Abbildung 14), dabei fördern die Nährstoffe das Wachstum der Pflanzen bis zu einem biologischen Optimum, danach fällt der Ertrag wieder ab. Der biologisch mögliche Höchstertag ist dabei nicht identisch mit dem wirtschaftlichen Optimum, da die Kosten der Düngung im Verhältnis zu den Erlösen den Aufwand für den Landwirt



Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Abb. 15: Stickstoffdüngung und Ertrag

dass der höchste Geldertrag erreicht wird. Der Verlust an Nährstoffen geht dabei möglichst nicht über ein unvermeidbares Maß hinaus um den Anforderungen der Umwelt auch bei Höchstertagen gerecht zu werden. Ein Mehrertrag, erzielt durch eine über das Optimum hinausgehende N-Düngergabe, wird durch die Düngungskosten nicht gedeckt.

In der Düngeverordnung ist deshalb geregelt, dass die Düngbedarfsermittlung so erfolgen soll, dass ein Gleichgewicht zwischen dem voraussichtlichen Nährstoffbedarf (nach Ertrag und Qualität) und der Nährstoffversorgung (verfügbare Nährstoffe, Humus- und Kalkgehalt, Bodenreaktion (pH-Wert), Anbaubedingungen) zu gewährleistet ist. Die Ergebnisse regionaler Feldversuche sollen herangezogen werden.

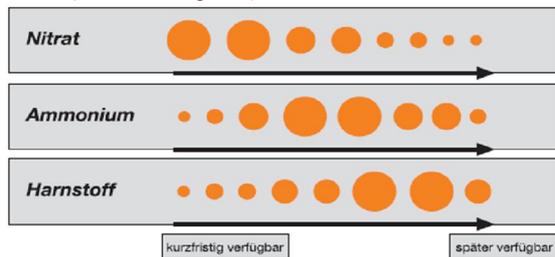
Die Pflicht zur Bodenuntersuchung besteht nur bei Phosphor ab 30 kg P₂O₅/ha und Jahr, bei Stickstoffdüngung von mehr als 50 kg/ha und Jahr ist die im Boden verfügbare Menge wenn nicht durch Bodenuntersuchung ermittelt nach fachspezifischen Vorgaben zu schätzen oder aus Untersuchungsergebnissen vergleichbarer Standorte abzuleiten.

6.1 Mineralische Stickstoffdüngung

Empfohlener pflanzenverfügbarer Gesamtstickstoff:	150 bis 200 kg/ha
--	--------------------------

Stickstoff gilt als Motor des Pflanzenwachstums und wirkt auf Ertrag und Qualität am stärksten von allen Pflanzennährstoffen. Stickstoff ist Baustein vieler organischer Verbindungen wie Eiweiße, organische Basen, Enzyme, Vitamine, Chlorophyll und Wuchsstoffe und beeinflusst den Phytohormonhaushalt. Die Aufnahme aus dem Boden erfolgt in Form von Nitrat (NO₃)

und Ammonium (NH₄). Bei einer einmaligen Stickstoffdüngung vor der Maisaussaat sollten Dünger in Ammoniumform oder Harnstoff bevorzugt werden. Ammoniumstickstoff ist für die Pflanzen länger verfügbar, da er im Boden austauschbar gebunden wird und nicht wie die Nitratform durch Niederschläge in für die Pflanzen nicht erreichbare Bodenschichten verlagert wird (Abbildung 16).



Mais nimmt ab dem 4-Blattstadium im Juni bis zum Eintrocknen der Narbenfäden im August 85 % des gesamten N-Bedarfes auf. Dieser Zeitraum fällt in die Hauptmineralisation des Bodens, was zwangsläufig zu einer Überdüngung und Luxuskonsum führen kann. Mais reagiert darauf weder mit qualitativen noch mit ertraglichen

Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Abb. 16: Wirkungsgeschwindigkeit von N-Verbindungen

Einbußen. Eine N-Düngung über das optimale Maß hinaus erhöht aber das Risiko von Nitratverlagerungen ins Grundwasser. Um dem entgegenzusteuern ist der Einsatz von mit Nitrifikationshemmern behandelter N-Dünger bei Mais aufgrund des relativ späten N-Bedarfes überlegenswert. Die bisher noch etwas umstrittene Wirkungssicherheit dieser Mittel sollte durch den Einsatz von Ureasehemmstoffen oder einer Kombination beider an Wirkungssicherheit gewinnen (siehe hierzu auch Gliederungspunkt 9).

Da der ertragsbedingte zeitlich eng begrenzte N-Bedarf der Maispflanze als auch die N-Bereitstellung aus dem Boden von vielfältigen Faktoren (Witterung, Boden, Bewirtschaftung) beeinflusst wird, kann der Düngebedarf in weiten Grenzen schwanken. Die Bemessung der notwendigen N-Menge erfolgt somit nicht nach dem Bilanzierungsverfahren wie bei Phosphor, Kalium und Magnesium, sondern im Rahmen der Stickstoff-Bedarfs-Analyse (SBA) auf Basis der N-Sollwert-Methode. Unter Berücksichtigung aller Quellen der N-Zufuhr beinhaltet diese Methode die Gesamtmenge an pflanzenverfügbaren Stickstoff, die dem Mais unter den örtlichen Bedingungen während der Vegetation zur Verfügung stehen muss. Dieser N-Sollwert richtet sich nach dem standorttypischen, betriebsspezifisch nachhaltig erzielbaren Ertrag. In Tabelle 7 sind die Sollwerte von Körner und Silomais für definierte Ertragsniveaus dargestellt.

Tab. 7: N-Sollwerte von Silo- und Körnermais in Abhängigkeit vom Ertrag

Hauptfrucht	N-Sollwerte in Abhängigkeit vom Ertrag (kg N/ha)						
	< 80	80 - 89	90 - 99	100 - 109	110 - 119	> = 120	
Körnermais	170	180	190	190	200	210	
	Ertragsniveau in dt/ha						
	< 400	400 - 499	500 - 599	600 - 699	700 - 799	800 - 899	> = 900
Silomais	170	180	190	200	210	220	230

Quelle: LfL -N-Düngung zu Mais“

Auf den meisten Standorten in Sachsen-Anhalt wird bei Körner- und Silomais ein Ertragsniveau erreicht, welches einen N-Sollwert von 180 bis 190 kg/ha erfordert. Eine vereinfachte Darstellung der N-Düngebedarfsermittlung zeigt die Übersicht 1.

Übersicht1: Düngebedarfsermittlung

N-Düngebedarf	=	N-Basis-Sollwert
	-	N _{min} -Gehalt des Bodens
	+/-	Zu- und Abschläge durch Berücksichtigung weiterer Faktoren

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Sollten Neuzüchtungen bei Energiemaissorten höhere Erträge erwarten lassen sind diese hier zum Ansatz zu bringen (N-Sollwert dann leicht zu erhöhen z.B. 190 bis 210 kg N/ha)
 Um den N-Düngebedarf wirtschaftlich, ökologisch und pflanzenbaulich zu optimieren sind die aktuellen N_{min} -Gehalte als auch die Stickstoffnachlieferungsquellen (Mineralisation, Vorfruchtwirkung, Stickstofffreisetzung aus organischer Düngung) sowie Stickstoffverluste (Auswaschung, Denitrifikation, Gasverluste) zu berücksichtigen. Die Stickstoffmenge die der Boden zwischen der N_{min} -Probenahme und der Ernte, in Abhängigkeit von Ackerzahl und Zeitpunkt der Probenahme, dem Mais bereitstellt, kann beträchtlich sein. Beispielhaft dargestellt könnte die Düngeplanung unter Beachtung der „Richtwerte für die Düngung“ bei einem angenommenen ortsüblichen Silomaisertrag (500 dt/ha) wie folgt aussehen (Tabelle 8).

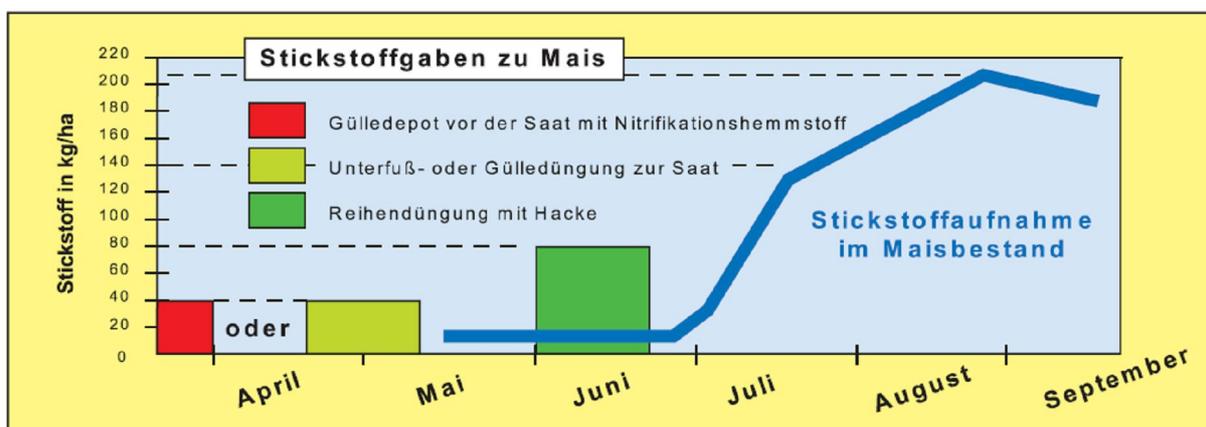
Tab. 8: Beispielhafte N-Bedarfsermittlung für Silomais

Schema (N-Bedarfsermittlung nach HOLZ)	Beispiel
N-Sollwert	180 kg/ha
N-Zuschlag (hohe Ertragserwartung > 500 dt/ha)	20 kg/ha
= Gesamtbedarf	200 kg/ha
- pflanzenverfügbare N_{min} -Gehalt in (0 - 60 cm)	60 kg/ha
- N-Nachlieferung aus organischer Düngung bei 30 m ³ Gülle/ha (3,9 kg N/m ³ Gülle) = 117 kg N Brutto; bei MDÄ von 60 % 117 kg N * 60 %	70 kg/ha
= Gesamtbereitstellung aus Boden	130 kg/ha
Gesamtbedarf minus Gesamtbereitstellung	200 kg/ha - 130 kg/ha
= Gesamtbedarf aus mineralischer Düngung (kg/ha)	70 kg/ha

Quelle: Holz, „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen“

Da die Unterfußdüngung mit stickstoffhaltigem Phosphordünger auf kühlen Standorten zur Sicherung der schnellen Jugendentwicklung Standard ist, ist dieser Stickstoff (30 bis 40 kg) bei der Düngeplanung anzurechnen. Eine generelle Teilung der Gesamtstickstoffgabe ist wirtschaftlich in Sachsen-Anhalt kaum sinnvoll und nur auf sehr leichten und/oder feuchten Böden bei früher Applikation zu empfehlen. Bei Teilung der N-Gabe zur Saat sollte etwa 40 kg Stickstoff pro ha in Form von Gülle oder als Unterfußdüngung zur Förderung der Jugendentwicklung des Mais gegeben werden. Die zweite Teilgabe sollte dann 80 kg/ha nicht überschreiten und erfolgt im Zeitraum Mitte Mai bis Mitte Juni (Abbildung 17)

Die Ausbringung muss dann reihengebunden, bodennah, evtl. in Verbindung mit Hackgeräten erfolgen, um Gasverluste und Ätزشäden zu vermeiden. Eine Einarbeitung ist bei leicht löslichen Düngerformen immer sinnvoll. Bei nur einer Stickstoffgabe vor der Saat sind langsam wirkende mineralische Düngerformen zu bevorzugen (Beispiele auch in Tabelle 9).



Quelle: Baden-Württemberger „Merkblätter für die Umweltgerechte Landwirtschaft“ – Umweltschonender Maisanbau

Abb. 17: Mögliche Teilung der Stickstoffgaben zu Mais (nach Hugger, verändert)

Tab. 9: Beispiele von Stickstoffdünger und deren Bindungsform

Handelsname	N-Bindungsform	Anteil der Bindungsformen (in %)	Kalkwert (kg CaO/dt)
Ammoniakgas	NH ₃	100 NH ₃	- 82
Natronsalpeter	NaNO ₃	100 NO ₃	+ 18
Ammoniumchlorid	NH ₄ Cl	100 NH ₄	- 63
Ammonsalpeter	NH ₄ NO ₃	50 NH ₄ 50 NO ₃	- 80
Schwefelsaures Ammoniak	(NH ₄) ₂ SO ₄	100 NH ₄	- 63
Kalkammonsalpeter	NH ₄ NO ₃ (74 %) + CaCO ₃ (26 %)	50 NO ₃ 50 NH ₄	- 13
Ammonsulfatsalpeter	NH ₄ NO ₃ (NH ₄) ₂ SO ₄	25 NO ₃ 75 NH ₄	- 51
Harnstoff	CO(NH ₂) ₂	100 NH ₂	- 46
Kalkstickstoff	CaNCN (60 %) + CaO	100 NCN	+ 35
Ammonnitrat-Harnstofflösung	NH ₄ NO ₃ und CO(NH ₂) ₂	50 NH ₂ 25 NO ₃ 25 NH ₄	- 28

Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Handelsdünger mit hohem Anteil Ammoniumstickstoff wie Ammoniumchlorid, Schwefelsaures Ammoniak, Kalkammonsalpeter, Ammonsulfatsalpeter sind langsam fließende Stickstoffquellen. Noch später stellt Harnstoff und Kalkstickstoff den Stickstoff zu Mais pflanzenverfügbar bereit. Bei nur einer mineralischen N-Gabe wird dann auch hauptsächlich Harnstoff vor der Saat ausgebracht und eingearbeitet, welcher im Boden unmittelbar in Ammoniumstickstoff umgewandelt wird. Um die Umsetzung von Ammonium in Nitrat durch Bodenbakterien zu verzögern, können Nitrifikationshemmstoffe zum Einsatz kommen.

6.2 Grunddüngung und Kalkung

Grundsatz

Die ausreichende Ernährung des Maises mit den Nährstoffen Phosphor, Kalium, Magnesium, Schwefel und Kalk ist neben ausreichender N-Düngung die Grundvoraussetzung für die Ausschöpfung des Ertragspotenzials des Standortes, für eine hohe Effizienz der Stickstoffausnutzung und auch aller anderen acker- und pflanzenbaulichen Maßnahmen. Die bedarfsgerechte Düngung des Bodens mit Grundnährstoffen fördert mittel- bis langfristig gesehen neben der Quantität auch die Qualität der Kultur und verbessert die Resistenz gegenüber Pflanzenkrankheiten.

Grundlage für die Bemessung der Höhe der Grunddüngung ist die Kenntnis über den Versorgungszustand des Bodens und des zu erwartenden Nährstoffentzuges durch den Mais, basierend auf den standorttypischen Ertrag. Auf Basis einer chemischen Bodenuntersuchung kann der Nährstoffgehalt des Bodens sicher ermittelt und Gehaltsklassen für z.B. Phosphor, Kalium und Magnesium festgelegt werden (siehe Tabelle 10). Eine auf Gehaltsklassen basierende Düngungsempfehlung mit Düngewirkung auf Ertrag und Boden ist in der Tabelle 10 mit abgeleitet und dargestellt.

Tab. 10: Definition der P-, K- und Mg-Gehaltsklassen für den leichtlöslichen (pflanzenverfügbaren) Nährelementgehalt im Boden und Düngungsempfehlungen (VDLUFA - Rahmenschema, 1997)

Gehaltsklasse (GK)	Definition
A	sehr niedriger Gehalt Düngungsempfehlung: stark erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: auf Ertrag: hoher Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt deutlich an
B	niedriger Gehalt Düngungsempfehlung: erhöhte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: auf Ertrag: mittlerer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden steigt an
C	anzustrebender Gehalt Düngungsempfehlung: Erhaltungsdüngung in Höhe der Nährstoffabfuhr Düngewirkung: auf Ertrag: geringer Mehrertrag auf Boden: Gehalt im Boden bleibt erhalten
D	hoher Gehalt Düngungsempfehlung: verminderte Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: auf Ertrag: Mehrertrag meist nur bei Blattfrüchten auf Boden: Gehalt im Boden nimmt langsam ab
E	sehr hoher Gehalt Düngungsempfehlung: keine Düngung gegenüber der Empfehlung in GK C Düngewirkung: auf Ertrag: keine auf Boden: Gehalt im Boden nimmt ab

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Aus zahlreichen Versuchen kann weiter abgeleitet werden, dass die Werte der Bodenuntersuchung mit dem Düngbedarf in enger Beziehung stehen; denn je höher der lösliche Nährstoffgehalt in der Bodenlösung ist, je geringer ist i.d.R. der Düngbedarf.

Bei den Nährstoffen Kalium und Magnesium ist neben der Bewirtschaftung die geologische Herkunft der Böden entscheidend. Hohe Gehalte an Kalium kommen in schweren Bundsandstein-, Muschelkalk-, Keuper- und Schwarzerdeböden, hohe Mg-Gehalte in Schiefer Keuper- und Lößböden vor. Dagegen sind die Gehalte von Magnesium und Kalium auf leichten Sandböden und Bundsandstein gering. Diese Zusammenhänge gelten auch für die Kalkversorgung der Böden. Für Phosphor kann dagegen keine bzw. nur eine geringe Beziehung zur geologischen Herkunft abgeleitet werden.

Auf der Basis umfangreicher Düngungsversuche wurde folgende Vorgehensweise bei der Düngung festgelegt, z.B. dass in Gehaltsklasse „C“ eine Erhaltungsdüngung in Höhe des Entzuges erfolgt, bei Gehaltsklasse „A“ und „B“ Zuschläge zur Erhaltungsdüngung gemacht werden um langfristig den Optimalertrag erreichen zu können. Bei Gehaltsklasse „D“ erfolgen Abschläge zur Düngung nach Entzug und bei Versorgungsstufe „E“ wird ganz auf die Düngung des Nährstoffes verzichtet. Das Prinzip der Berechnung des P- und K-Düngbedarfes veranschaulicht die Abbildung 18.

Düngebedarf (mineralisch)	<i>gleich</i> Pflanzenbedarf	<i>plus</i> Einstellung des Bodengehalts	<i>minus</i> organische Düngung
	↑	↑	↑
	ergibt sich aus <ul style="list-style-type: none"> • Zielertrag • Nährstoffgehalt der Pflanze 	Korrektur der Düngermenge <ul style="list-style-type: none"> • zwecks Erreichen eines optimalen Bodengehalts (Gehaltsklasse C) • durch Zu- oder Abschläge in Abhängigkeit von Bodenart und Nährstoffgehaltsklasse 	Errechnung der aus organischer Düngung verfügbaren Nährstoffe unter Berücksichtigung von <ul style="list-style-type: none"> • Menge • Nährstoffgehalt • Mineral-Düngeräquivalent (MDÄ)

Quelle: Holz, „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen“

Abb. 18: Düngebedarfsermittlung für Phosphor und Kalium

Bei der Düngebedarfsrechnung ist als erster Schritt für die Ermittlung des Gesamtnährstoffbedarfes der Nährstoffentzug zu bestimmen. Die erforderlichen Nährstoffgehalte der Maispflanze sind den Tabellen 3/4 zu entnehmen.

$$\text{Entzug (kg/ha)} = \text{Ertragsziel (dt/ha)} \quad \times \quad \text{Nährstoffgehalt der Pflanze (kg/dt FM)}$$

Mit der Kenntnis über die Höhe des Nährstoffentzuges und der im Boden verfügbaren Nährstoffe wird der Gesamtbedarf ermittelt. Der Bilanzwert ist ein Zu- oder Abschlag, abhängig von der aktuellen Gehaltsklasseneinstufung des Bodens und berücksichtigt die scheinbare Ausnutzung der zugeführten Nährstoffe. Ziel ist es dabei, schneller und langfristig einen optimalen Versorgungszustand des Bodens (Gehaltsklasse C) einzustellen. Die Bilanzwerte können der Broschüre „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen“ entnommen werden.

$$\text{Gesamtbedarf (kg/ha)} = \text{Entzug (kg/ha)} \pm \text{Bilanzwert (kg/ha)}$$

6.2.1 Phosphordüngung, Unterfußdüngung

Düngungsempfehlung:	40 bis 80 (100) kg P₂O₅
----------------------------	--

Phosphor ist ein wichtiges Bauelement der Zellmembran und Nukleinsäuren und nimmt somit in allen Prozessen des Energiehaushaltes des Maises eine Schlüsselstellung ein. Phosphor wird vorwiegend in anorganischer Form als Orthophosphat aufgenommen. Der Bedarf des Maises von 80 bis 100 kg P₂O₅/ha kann auf normal versorgten Böden z.B. durch Unterfußdüngung (30 bis 40 kg P₂O₅/ha) und 30 bis 40 m³ Rindergülle (1,5 kg P₂O₅ / m³) gedeckt werden. Steht keine Gülle zur Verfügung, ist eine mineralische Ergänzungsdüngung mit stickstoffhaltigen Phosphordünger oder reinen Phosphordüngern vorzunehmen (Tab.11). Die Maispflanze nimmt ab dem 4- Blattstadium bis zur Kolbenreife kontinuierlich Phosphor auf. Da Mais in der Jugendentwicklung durch das noch schwach ausgebildete Wurzelsystem ein schlechtes Phosphoraneignungsvermögen besitzt, was sich bei kühler Witterung noch verschlechtert, tritt bei unterlassener Unterfußdüngung oft temporärer Mangel ein.

Tab. 11: Ausgewählte Phosphordünger und ihre handelsüblichen Gehalte an Makronährstoffen (Angaben in %)

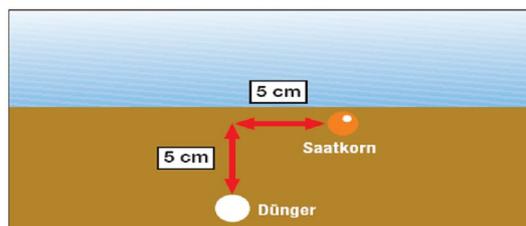
Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/kg)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO	
Phosphordünger							
Carolon-Phosphat		26				20	+ 22
Cederan-P		23			8	11	+ 11
Hyperphosphat gekörnt		26				29	+ 31
Hyperphos-Magnesia		21		7			+ 26
Novaphos		23				11	+ 13
Superphosphat		18			12	27	- 1
Thomaphosphat		15		2		43	+ 45
Triplephosphat		46				17	- 3

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Unterfußdüngung zu Mais mit Phosphat

Die Unterfußdüngung zu Mais mit Phosphat in Verbindung mit einer Startstickstoffgabe, gehört bei kalten schlecht versorgten Standorten, Bodenstrukturmängeln und ungünstigen Witterungsbedingungen in Sachsen-Anhalt zum Standard. Auch auf Böden mit pH-Werten unter 5,5 oder über 7,0 ist die Verfügbarkeit von Phosphor durch schlechte Löslichkeit eingeschränkt und bedarf einer Unterfußdüngung.

Die Ablage des Düngers erfolgt 5 cm entfernt und 5 cm unterhalb des Maiskornes (Abbildung 19).



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner

Zur Sicherung der Phosphatversorgung in der Jugendentwicklung sind 30 kg P₂O₅, in Verbindung mit 40 kg/ha Stickstoff, bei ausreichender Bodenversorgung und regelmäßiger Ausbringung größerer Mengen Wirtschaftsdünger, ausreichend. Es ist jedoch zu beachten, dass nach der

Abb. 19: Düngerplatzierung bei Mais

Düngeverordnung bei P₂O₅ ein Saldo von +20 kg/Jahr im Durchschnitt der letzten 6 Düngejahre gilt, es sei denn das im Durchschnitt aller Schläge über 1 ha die Bodenuntersuchung weniger als 20 mg CAL- P₂O₅/100 g Boden (bzw. 3,6 mg P nach EUF) ausweist. Schweine haltende Betriebe stoßen bei maislastiger Fruchtfolge schnell an die Grenzen des in der Düngeverordnung Erlaubten. Von einem völligen Verzicht auf Unterfußdüngung ist bei den vorher genannten Anbaubedingungen selbst auf Standorten mit hohem P-Versorgungsniveau (Gehaltsklasse D, E) aus pflanzenbaulicher Sicht abzuraten. Stickstoffbetonte Düngerformen (N/P-Verhältnis 20 + 20) sollten dann bei dieser hohen Versorgung zum Einsatz kommen, während in der Praxis bei normalen P-Versorgungsstufen ammoniumhaltige Phosphordünger (DAP und MAP) eingesetzt werden sollten.

Ammonium beeinflusst die Phosphatverfügbarkeit zusätzlich positiv. Eine Unterfußdüngung mit Ammonphosphat gleichzeitig mit der Saat fördert die zusätzlich die Kältetoleranz, beschleunigt die Kolbenreife, erhöht den Ertrag und die Qualität des Maises und sichert einen frühzeitigen Erntetermin mit positiven Effekten auf die Nachfrucht.

Versuche der Landwirtschaftskammer Niedersachsen belegen, dass ein Verzicht auf Unterfußdüngung im Durchschnitt der Jahre mindestens 5 % Mindererträge bei Trockenmasse, Energie und Stärke bewirken.

Die Wirtschaftlichkeit des Mehrertrages der Unterfußdüngung muss dennoch immer standort- und einzelbetrieblich betrachtet und kalkuliert werden. Der Effekt der Absicherung des Ertrages und des angestrebten Erntetermines sollte aber dennoch nicht unterschätzt werden,

da bei ungünstiger Witterung zur Zeit der Jugendentwicklung des Mais (4-8 Blattstadium), dieser besonders empfindlich und mit extremen Wachstumsdepressionen auf eine unzureichende Nährstoffversorgung reagiert.

Ein Verzicht auf Unterfußdüngung zur Kostenersparnis ist am ehesten auf Böden möglich, die gut erwärmbare und gut mit Nährstoffen vor allem Stickstoff und Phosphor, versorgt sind (z.B. Lößböden in Sachsen-Anhalt)

6.2.2 Kaliumdüngung

Düngungsempfehlung:	150 bis 240 kg/ha K₂O
----------------------------	---

Kalium wird durch die Pflanze als Kation (K⁺) aufgenommen. Der Nährstoff ist in der Maispflanze für den Aufbau von Inhaltsstoffen wie Kohlenhydrate verantwortlich und aktiviert zahlreiche Enzyme im Stoffwechsel. Große Bedeutung hat Kalium bei der Regulierung des Wasserhaushaltes (Aufrechterhaltung des osmotischen Druckes) in der Pflanzenzelle. Es wird also nicht nur der Aufbau der Assimilate, sondern auch deren Transport vom Blatt in die Speicherorgane gefördert. Eine ausreichend hohe K-Konzentration in der Zelle verbessert die Winterfestigkeit (für Mais nur im Frühjahr zur Steigerung der Kältetoleranz relevant), vermindert die Trockenstressanfälligkeit, erhöht die Standfestigkeit und die Widerstandskraft gegen Stängelfäule und ist wichtig für eine volle Kolbenausbildung.

Mais deckt seinen sehr hohen Kaliumbedarf (bis 240 kg K₂O), schon bis zum Eintrocknen der Narbenfäden zu 100 % ab, für die Kolbenausreife ist dann kein weiterer Bedarf. Kann in dieser Zeit nicht genügend Kalium aufgenommen werden, wird die Wasseraufnahme gehemmt, der unproduktive Wasserverbrauch steigt und in Verbindung mit Stickstoffüberschuss sinkt die Resistenz der Pflanze gegen Krankheiten und Schädlinge. Das kann bei Körnermais zu erschwerten Erntebedingungen (Schwächen bei der Standfestigkeit) aufgrund der längeren Vegetationszeiten führen.

Die Ausbringung des Kalidüngers erfolgt im Rahmen der Fruchtfolge als Vorratsdüngung, hauptsächlich auf den Stoppeln der Vorfrucht und nur bei zur Auswaschung neigenden Böden sollte zur Saat gedüngt werden. Eine Kopfdüngung in aufgelaufene Bestände ist aufgrund der auszubringenden Mengen nicht zu empfehlen, da zur Vermeidung von Pflanzenschäden (Ätزشäden), dann Reihenstreuer eingesetzt werden sollten welche diese Mengen nur schwerlich ausbringen. Je nach Versorgungszustand des Bodens mit Magnesium und Schwefel können neben 50/60er Kali und Kaliumchlorid auch Kalimagnesia (Patentkali), Korn-Kali, Magnesia - Kainit oder Kaliumsulfat zur Verbesserung der S-Gehalte ausgebracht werden (Tabelle 12).

Um die Pflanzenwirkung des Kaliums optimal auszuschöpfen, sollte das Verhältnis von Kalium zu Magnesium nicht größer als 2:1 sein. Die Verwendung magnesiumhaltiger Kalidünger wie Patentkali, bieten sich bei leichter Unterversorgung an.

Tab. 12: Ausgewählte Kaliumdünger und ihre handelsüblichen Gehalte an Makronährstoffen (Angaben in %)

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/kg)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO	
Kaliumdünger							
Kalimagnesia (Patentkali)			30	10	18		0
Kaliumchlorid			60				0
Kaliumsulfat			50		18		0
Kornkali/Kamex			40	6	4		0
60er Kali, grob			60				0
50er Kali, grob			50				0
Korn-Kali, grob			40	6	4		0
Magnesia-Kainit			11	5	4		0

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

6.2.3 Magnesiumdüngung

Düngungsempfehlung:	40 bis 60 kg/ha MgO
----------------------------	----------------------------

Magnesium gelangt wie Kalium als Kation (Mg⁺⁺) in die Pflanzen, wo es als Zentralatom des Chlorophylls für die Photosynthese unentbehrlich ist. Zwei Drittel der Magnesiumbedarfs wird zwischen Reihenschluss und Blüte des Maises aufgenommen. Magnesium aktiviert Enzymreaktionen, die den Aufbau von Kohlenhydraten, Fetten und Eiweißen regeln und nimmt Einfluss auf den Quellungszustand der Zellen.

Bei normal versorgten Böden (Gehaltsklasse C) sollte der der vergleichsweise gering Magnesiumbedarf des Maises über z.B. Kaliumdünger (siehe Tabelle 12) oder über Brannt- oder Hüttenkalke (mit 5 – 15 % MgO) sowie Konverterkalk mit gedeckt werden (s. Tabelle 15 Kalkdünger). Je nach Nutzungsrichtung wird von Körnermais 30 bis 40 kg/ha und von Silo- und Energiemais 60 bis 70 kg/ha und Jahr Magnesium entzogen.

Unterversorgte Böden können um einen Fehlbetrag langfristig auszugleichen z.B. mit Kieserit (25% MgO) bei Aufwandmengen von 2 bis 4 dt/ha breitflächige gedüngt werden, gleichzeitig wird ein beachtlicher Schwefelgehalt ausgebracht (Tabelle 13).

Der Magnesiumgehalt in organischen Dünger wie Gülle, Jauche und Stalldung ist in Abhängigkeit vom TS-Gehalt, mit Ausnahme von Geflügelkot, recht gering und sollte bei der Anwendung in die Bilanzierung der mineralischen Ergänzungsdüngung einbezogen werden. Dieser reicht aber als Alleindünger nicht für Deckung des Entzuges aus (siehe hierzu auch die Tabellen 26/ 27 ab Gliederungspunkt 8 „Organische Düngung“).

Tab. 13: Ausgewählte Magnesiumdünger und ihre handelsüblichen Gehalte an Makronährstoffen (Angaben in %)

Düngemittel	Nährstoffgehalt in %						Kalkwert des Düngers (kg CaO/kg)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	S	CaO	
Magnesiumdünger							
Hyperphos-Magnesia		21		7	3		+ 26
Bittersalz				16	13		0
Kieserit				25	21		0
Magnesiummischkalk				15		45	+ 76
Magnesia-Kainit, grob			12	6	4		0

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

6.2.4 Schwefeldüngung

Düngungsempfehlung:	20 bis 30 kg/ha Schwefel
----------------------------	---------------------------------

Das Spurenelement Schwefel nimmt die Pflanze vorwiegend als Sulfat-Ion (SO₄²⁻) aus der Bodenlösung auf. Schwefel ist vor allem für die Eiweißbildung und den Chlorophyllhaushalt bedeutungsvoll. Es ist Bestandteil von Aminosäuren, Vitaminen und Enzymen, Infolge zunehmender Abgasreinigung in der Industrie, ist die S-Immission aus der Atmosphäre deutlich rückläufig und das schon über viele Jahre. Gleichzeitig geht durch sinkende Tierbestände, verbunden mit geringerem Gülleanfall, auch diese S-Quelle zurück. Dem gegenüber stehen gestiegene S-Abfuhr durch höhere Erträge und beträchtliche Auswaschungsverluste aufgrund sehr guter Wasserlöslichkeit. Auf tiefgründigen Lehm- und Tonböden kehrt sich dieser Effekt der Wasserlöslichkeit positiv um, da infolge kapillaren Wasseraufstieges dann hohe S-Vorräte tieferer Bodenschichten den Pflanzen zur Verfügung stehen.

Da der S- Bedarf von Silomais im Vergleich zu anderen Kulturen eher als niedrig einzustufen ist, führt S-Mangel, wenn er dann auftritt zur verzögerten Kolbenausbildung und

Verschlechterung der Krankheitsresistenz. Wenn überhaupt werden Mängel eher bei Körnermais als bei Silomais sichtbar, wobei die Silomaisqualität durch schlechte Kolbenausbildung auch leiden kann (geringerer Energieertrag). Vor einer Schwefeldüngung sollte also der Bedarf mit Hilfe der S_{\min} -Bodenanalyse im Frühjahr bestimmt werden. Die Untersuchung auf S_{\min} erfolgt parallel zur N_{\min} -Analyse an der gleichen Bodenprobe.

Eine späte S-Düngung der Maispflanze über eine Blattdüngung ist aufgrund der Wuchshöhe bei Mais kaum möglich, so dass bei Schwefelbedarf dieser immer durch eine frühe Bodendüngung zu Vegetationsbeginn auszugleichen ist, besser aber noch zu stärker schwefelbedürftigen Kulturen in der Fruchtfolge wie z.B. Raps. Hier ist die Schwefeldüngung wirtschaftlicher.

Als S-Dünger kommen einmal S-haltige Stickstoffdünger wie z.B. Schwefelsaures Ammoniak, Ammonsulfatsalpeter und Alzon 25 (Tabelle 9), unter Berücksichtigung der bedarfsgerechten N-Düngung in betracht, sowie schwefelhaltige K- und/ oder Mg-Dünger (Tabellen 12/13).

Die S-Zufuhr über organische Düngerformen wie z.B. Gülle mit 0,3 bis 0,5 kg S/m³ ist in Vieh haltenden Betrieben die Standardvariante und führt bei regelmäßiger Ausbringung auch zur Deckung des Bedarfes. Für eine kurzfristige Versorgungsverbesserung ist organischer Dünger nicht geeignet, da dieser Schwefel gebunden ist und erst durch Mineralisation spät pflanzenverfügbar wird.

6.2.5 Kalkdüngung

Düngungsempfehlung: Die Höhe ist abhängig von Bodenart und Ist-pH-Wert

Die dauerhafte Einstellung eines standortgerechten pH-Wertes durch eine optimale Kalkversorgung des Bodens ist Bestandteil einer hohen Bodenfruchtbarkeit und Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Maisanbau. Unter den in Sachsen-Anhalt vorherrschenden Bewirtschaftungs- und Klimabedingungen findet eine natürliche Versauerung des Bodens statt. Ursachen für Kalkverluste sind:

- Säureeintrag durch Regenwasser führt zu Auswaschung und Neutralisation, abhängig von Menge, Bodenart und Nutzungsform (100 bis 500 kg CaO /ha/a)
- Ausscheidungen von Pflanzenwurzeln und Bodenorganismen
- Entzug durch Ernte – Silomais ca. 0,5 kg CaO/dt TM, (ca. 60 - 90 kg/ha)
- Acker- und pflanzenbauliche Maßnahmen, wie Aktivierung des Bodenlebens durch Zufuhr organischer Substanz und Einsatz physiologisch saurer Dünger (Harnstoff vor der Saat – Tabelle 9).

Die Einstellung eines optimalen pH-Wertes führt zu gesunden fruchtbaren Böden die eine nachhaltige, wirtschaftliche Produktion erlauben. Eine bedarfsgerechte Kalkung verbessert die physikalischen, chemischen und biologischen Eigenschaften des Bodens. Kalk fördert die Bildung von Ton-Humus-Komplexen und stabilisiert das Bodengefüge. Der Boden wird durch stabile Porensysteme in die Lage versetzt, mehr Wasser aufzunehmen und zu speichern, erwärmt sich schneller, die Verschlammungs- und Erosionsgefahr wird gesenkt (Oberflächenwasser kann schneller versickern), die Tragfähigkeit wird verbessert, die Verdichtungsneigung nimmt ab und der Zugkraftbedarf wird reduziert. Die Böden sind durch schnelle Abtrocknung früher befahrbar.

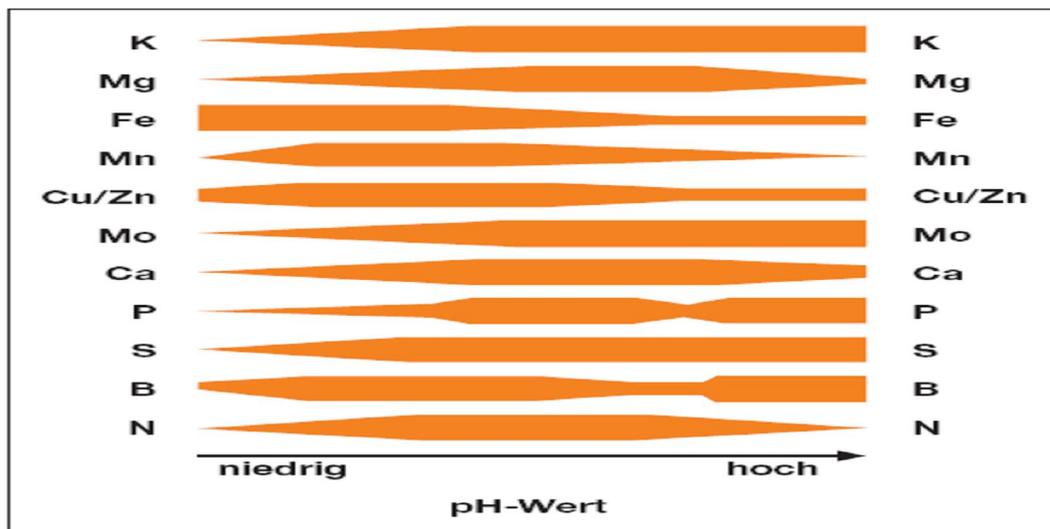
Die Frühjahrskultur Mais profitiert von diesen verbesserten Bodeneigenschaften besonders, da sie für die Keimung hohe Bodentemperaturen (ca. 8 °C) benötigt und aufgrund der spät schließenden Bestände ein stabiles Bodengefüge notwendig ist.

Die chemische Wirkung von Kalk besteht in der Neutralisierung der Säuren, es wird die Freisetzung toxischer Ionen wie AL_3+ verhindert und die Löslichkeit toxischer Schwermetalle und deren Aufnahme durch die Pflanze werden reduziert.

Mit der schleichenden Bodenversauerung einhergehende Verschlechterung der Nährstoffverfügbarkeit führt auch bei Mais zu Ertrags- und Qualitätseinbußen. Außerhalb

eines pH-Bereiches von 5,5 bis 7,0 nimmt die optimale Löslichkeit der meisten Pflanzennährstoffe ab (siehe Abbildung 20, pH-Wert < 5,5 = niedrig (B); > 7,0 = hoch (D)).

Im stark sauren Bereich werden z.B. Magnesium, Phosphor, Molybdän festgelegt, während im stark basischen Milieu die Löslichkeit einiger Mikronährstoffe zurückgeht, dagegen sind Stickstoff, Schwefel, Kalium, Magnesium, Kalk und Molybdän noch recht gut verfügbar. Die biologische Wirkung des Kalkes besteht in der Schaffung optimaler Lebensbedingungen (schwach saurer bis neutralen Bereich) für Kleinorganismen wie Bakterien, Regenwürmer, Pilze zur Mineralisation organische Substanzen.



Quelle: KWS/ Maisanbauplaner (nach Geisler 1988)

Abb. 20: pH-Wert und Nährstoffverfügbarkeit

Auf landwirtschaftlich genutzten Böden ist die Calcium-Ernährung der Pflanzen selbst auf sauren Standorten immer gesichert. Die Maispflanze nimmt Calcium als zweiwertiges Kation (Ca^{2+}) auf. Es wird für den Aufbau der Zellwände benötigt, aktiviert Enzyme und stabilisiert die Zellmembran.

Ziel der Kalkung ist also die Erreichung/Erhaltung der anzustrebenden optimalen Bodenreaktion (Gehaltsklasse C) und die Herstellung der Ansprüche der Fruchtart Mais (optimaler pH-Bereich 5,8 bis 7,0) an die Bodenreaktion. Ziel-pH-Werte für die Bodenarten in Abhängigkeit vom Humusgehalt und die daraus resultierenden Kalkmengen für eine Erhaltungskalkung können der (Tabelle 15) entnommen werden. Für die Kalkdüngungsbedarfsermittlung wird durch regelmäßige Bodenuntersuchung der pH-Wert, in Abhängigkeit von Bodenart und Humusgehalt bestimmt und die Nutzung hinterfragt. Mit Hilfe dieser Kenndaten erfolgen die Zuordnung des Standortes zu bestimmten Bodengruppen der Düngung (Tabelle 2), sowie die Eingruppierung in pH-Klassen der Kalkversorgung (Tabelle 14). Mit den daraus resultierenden Ziel-pH-Werten können die benötigten Kalkmengen berechnet werden. Die Kalkbedarfsermittlung basiert auf Ergebnissen umfangreicher Feldversuche.

Beim Kalkdüngungsbedarf wird in Abhängigkeit von der Höhe der Kalkgabe nach Erhaltungskalkung, Aufkalkung und Gesundungskalkung unterschieden. Ziel ist es, durch die unterschiedliche Düngungsmenge die Kalkversorgungsstufe „C“ einzustellen. Welche Kalkmengen bei Erhaltungskalkung zur Beibehaltung der Versorgungsstufe „C“ in Abhängigkeit vom Humusgehalt notwendig sind zeigt die Tabelle 15.

Bei höherem Kalkbedarf (Gesundungs- und Aufkalkung) ist die Ausbringungsmenge zu begrenzen und die Fehlmenge im Folgejahr auszubringen. Je nach Bodengruppe sollte bei einmaliger Anwendung höchstens 28 bis 84 dt CaO/ha (Umrechnungsfaktor Ca zu CaO ist 1,4) ausgebracht werden, auf leichteren Böden die geringeren, auf schwereren die höheren Mengen (siehe Tabelle 16).

Tab. 14: Definition der pH-Klassen für die Kalkversorgung des Bodens sowie des Kalkdüngungsbedarfs

pH-Klasse/ Kalkversorgung	Beschreibung von Zustand und Maßnahme		Kalkdüngungs- bedarf
A sehr niedrig	Zustand:	Erhebliche Beeinträchtigung von Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, sehr hoher Kalkbedarf, signifikante Ertragsverluste bei fast allen Kulturen bis hin zum gänzlichen Ertragsausfall, stark erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.	Gesundungskalkung
	Maßnahme:	Kalkung hat weitgehend unabhängig von der anzubauenden Kultur Vorrang vor anderen Düngungsmaßnahmen.	
B niedrig	Zustand:	Noch keine optimalen Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit, hoher Kalkbedarf, meist noch signifikante Ertragsverluste bei kalkanspruchsvollen Kulturen, erhöhte Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen im Boden.	Aufkalkung
	Maßnahme:	Kalkung erfolgt innerhalb der Fruchtfolge bevorzugt zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	
C anzustreben, optimal	Zustand:	Optimale Bedingungen für Bodenstruktur und Nährstoffverfügbarkeit sind gegeben, geringer Kalkbedarf, kaum bzw. keine Mehrerträge durch Kalkdüngung.	Erhaltungskalkung
	Maßnahme:	Kalkung innerhalb der Fruchtfolge zu kalkanspruchsvollen Kulturen.	
D hoch	Zustand:	Die Bodenreaktion ist höher als anzustreben, kein Kalkbedarf.	keine Kalkung
	Maßnahme:	Unterlassung einer Kalkung	
E sehr hoch	Zustand:	Die Bodenreaktion ist wesentlich höher als anzustreben und kann die Nährstoffverfügbarkeit sowie den Pflanzenertrag und die Qualität negativ beeinflussen.	keine Kalkung und keine Anwendung physiologisch bzw. chemisch-alkalisch wirkender Düngemittel
	Maßnahme:	Unterlassung jeglicher Kalkung, Einsatz von Düngemitteln, die in Folge physiologischer bzw. chemischer Reaktion im Boden versauernd wirken.	

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Tab. 15: Erforderliche Kalkmengen für die Erhaltungskalkung

Boden- gruppe	pH-Bereich für die Erhaltungskalkung			Kalkdüngermenge für die Erhaltungskalkung (dt Ca/ha)
	z.B. Humusgehalt (%)			
	≤ 4,0 %	4,1 - 8,0 %	8,1 - 15,0 %	
1	5,4 - 5,8	5,0 - 5,4	4,7 - 5,1	6/5/4
2	5,8 - 6,3	5,4 - 5,9	5,0 - 5,5	10/9/8
3	6,1 - 6,7	5,6 - 6,2	5,2 - 5,8	14/12/10
4	¹⁾ 6,3 - 7,0	5,8 - 6,5	5,4 - 6,1	17/15/13
5	¹⁾ 6,4 - 7,2	5,9 - 6,7	5,5 - 6,3	20/18/16
6 ²⁾	4,3 (Humusgehalt > 30,0 %)			keine Erhaltungskalkung

¹⁾Auf Karbonathaltigen Böden keine Erhaltungskalkung

²⁾Auf sauren org. Böden wird Ackernutzung nicht empfohlen. Auf den meisten Niedermoorböden liegt der pH-Wert geogen > 6,5

Quelle: Holz „Grundlagen der Düngedarfsermittlung“ - angepasst.

Tab. 16: Empfohlene Höchstmengen je Kalkung (Angaben in dt CaO/ha)

Boden- gruppe	Höchstmengen in dt CaO/ha	
	Ackerland	Grünland
1	28	21
2	42	21
3	56	28
4	70	35
5	84	42
6	28	28

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Je schwerer die Böden sind, umso vorteilhafter ist eine Frühjahrs- und Vorsaatkalkung zu Mais. 1,5 t/ha Kalk mit der Saatbettbearbeitung eingearbeitet, fördert die Bodenstruktur und Bodenerwärmung, was auch zur besseren Phosphorverfügbarkeit beiträgt. Aus den zur Verfügung stehenden Kalkdüngern (Tabelle 17) sollten nur schnellwirksame Formen wie Branntkalk und Mischkalk im Frühjahr eingesetzt werden. Die Wirkungsgeschwindigkeit des Kalkes nimmt von den Oxiden (CaO, MgO) über Carbonate (CaCO₃, MgCO₃) zu den Silikaten ab.

Tab. 17: Auswahl wichtiger Kalkdünger

Kalkdünger	Basische Wirkung CaO- und MgO- Gehalt	tatsächliche Kalkform, Wirkung und Nebenbestandteile
Kohlensaurer Kalk	45 - 53 % zum Teil als MgO	80 - 95 % CaCO ₃ und MgCO ₃ langsam und nachhaltig
Branntkalk	80 - 95 % zum Teil als MgO	gebrannter Kalk mit sehr schneller Wirkung
Mischkalk	60 - 65 % zum Teil als MgO	Gemisch aus Branntkalk und kohlensaurem Kalk; schnelle aber weniger nachhaltige Wirkung
Konverterkalk feucht-körnig	43 % davon 5 % MgO	kieselsaure Kalke mit nachhaltiger Wirkung, Spurennährstoffe
Carbokalk (abgepresst) Kalkdünger aus der Verarbeitung von Zuckerrüben	30 - 32 % davon 1 % MgO	CaCO ₃ mit schneller Wirkung ca. 0,4 % N und 0,6-1,0 % P ₂ O ₅ 12 -15 % organische Bestandteile
Carbokalk (flüssig) Kalkdünger aus der Verarbeitung von Zuckerrüben	19 % davon 0,8 % MgO	CaCO ₃ mit schneller Wirkung ca. 0,2 % N und 0,7 % P ₂ O ₅ 6 % organische Bestandteile
Kalkdünger aus der Aufbereitung von Trink- und Brauchwasser (Rückstandskalk)	mindestens 30 % in der TM	überwiegend als CaCO ₃ i.d.R langsame Wirkung
Kalkdünger aus der Verbrennung von Braunkohle (Rückstandskalk z.B. Fortunit)	40 % davon 10 % MgO	Schwefel, Kieselsäure, Spurennährstoffe

Quelle: Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen

7 Mikronährstoffdüngung

Der Mikronährstoffgehalt der Böden wird einmal durch die geologische Herkunft und zum anderen durch die Bewirtschaftung bestimmt. Potentielle Mangelstandorte (Tabelle 18) lassen sich daraus ableiten, welche aber nicht in jedem Fall düngedürftig sind.

Tab. 18: Standorte mit besonderer Neigung zu Mikronährstoffmangel

Nährstoff	mangelgefährdete Standorte
Bor	trockene, alkalisch reagierende Böden; diluviale Standorte
Kupfer	Moorböden; sehr humusreiche Standorte; Grünland auf Niedermoor
Mangan	Böden mit neutraler bis alkalischer Bodenreaktion; häufig auf überkalkten sandigen Böden; kalkhaltige Niedermoorböden
Molybdän	saure Böden
Zink	Böden mit sehr hoher Phosphorversorgung; Sand- und Karbonatböden mit viel zersetzbarer organischer Substanz

Quelle: Holz „Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine Gute fachliche Praxis beim Düngen“

Die Düngung mit Mikronährstoffen war bisher auf absolute Mangelstandorte (z.B. Kupfer und Mangan auf Niedermoor) beschränkt. Durch stetig steigende Erträge verbunden mit höheren Entzügen, der Zunahme von Trockenperioden, Verwendung reinerer Makronährstoffdünger und den stetigen Rückgang der Viehbestände, nimmt die Bedeutung der Mikronährstoffdüngung auch bei Mais (z.B. Energiemaisanbau in reinen Ackerbaubetrieben) zu. Mais weist bei den Mikronährstoffen Molybdän einen niedrigen, bei Bor, Kupfer, Mangan einen mittleren, bei Zink dagegen einen hohen Bedarf aus. Trotz des im Allgemeinen eher mittleren Bedarfes, ist auch bei dieser Kultur vor allem bei Mangel an den Spurenelementen Bor, Mangan und Zink mit Wachstumsdepressionen zu rechnen (siehe Abschnitt „Nährstoffmangelsymptome“).

Zur Ermittlung des Mikronährstoffbedarfes von Mais bedient man sich in Sachsen-Anhalt bei der klassischen Bodenuntersuchung der CAT-Methode, die den potenziell verfügbaren Nährstoffvorrat im Boden beschreibt. Die so erlangten Ergebnisse bilden die Grundlage für die Düngebedarfsermittlung. Die Werte der Bodenanalyse können auf Basis von z.B. drei Gehaltsklassen eingestuft werden (Tabelle 19).

Tab. 19: Definition der Gehaltsklassen für den Mikronährstoffgehalt in Abhängigkeit von der Düngebedürftigkeit der Kulturen

Gehaltsklasse	Düngungsempfehlung
A sehr niedriger/niedriger Gehalt im Boden	Beim Anbau mikronährstoffintensiver Kulturen wird durch Mikronährstoffdüngung ein deutlicher, z. T. signifikanter Mehrertrag erzielt. Weniger anspruchsvolle Kulturen erfordern keine Düngung.
C mittlerer/optimaler Gehalt im Boden	Eine Mikronährstoffdüngung wird nur dann zu mikronährstoffintensiven Kulturen empfohlen, wenn nicht bereits durch andere Faktoren die Mikronährstoff-Versorgung gewährleistet wird (z. B. organische Düngung, Veränderung des pH-Wertes im Boden durch Kalk oder physiologisch saure Düngemittel).
E hoher/sehr hoher Gehalt im Boden	Für alle Kulturen reichen die Mikronährstoffgehalte im Boden für hohe Erträge aus. Düngung ist nicht erforderlich.

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Sollten in der Wachstumsphase des Mais klassische Mangelsymptome beobachtet werden, gibt nur eine Pflanzenanalyse Hinweise zum aktuellen Ernährungszustand. Zur Kontrolle der optimalen Nährstoffversorgung bei Mais erfolgt die Entnahme von Pflanzenorganen zum Zeitpunkt des intensivsten Wachstums bzw. des höchsten Nährstoffbedarfes (Tabelle 20). Für die Bewertung des Ernährungszustandes von Mais wurden Richtwerte aus den Ergebnissen von Feldversuchen abgeleitet. Diese berücksichtigen den Zusammenhang von Nährstoffgehalt relevanter Pflanzenteile des Mais, deren Entwicklungsstadium und Ertrag (Tabelle 21).

Tab. 20: Probenahmezeitraum und Probenahmeorgane für die Kontrolle der Nährstoffversorgung des Mais

Kulturart	Zeitraum der Probenahme (Entwicklungsstadien mit BBCH-Code)	Probenahmeorgan
Mais	40 - 60 cm Bestandeshöhe (BBCH 33...36) Rispenschieben (BBCH 51...59) Blüte (BBCH 61...69)	mittlere Blätter mittlere Blätter Kolbenblätter

Quelle: : „Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens“

Tab. 21: Richtwerte für Mikronährstoffgehalte von Silomais
Silomais (bis zum Fahnschieben - mittlere Blätter; zur Blüte - Kolbenblätter)

Entwicklungsstadium (BBCH)	B	Cu	Mn	Zn
	mg/kg i. d. TM			
40 - 60 cm	7 - 30	6,0 - 17,0	40 - 160	22 - 70
Rispenschieben	7 - 20	7,0 - 16,5	35 - 150	22 - 70
Blüte	8 - 20	8,0 - 16,0	20 - 150	22 - 60

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Nährstoffmangel in der Wachstumsphase des Maises kann dann nur noch über eine Blattdüngung behoben werden und ist aber eher selten. Der optimale Applikationszeitraum bei Mais ist nach dem 4. Blatt-Stadium, bei Wuchshöhen von 30 bis 40 cm. Für die Ausbringung im Mais steht dem Landwirt eine Vielzahl an Blattdünger mit unterschiedlichen Nährstoffgehalten zur Verfügung. Die Ausbringmengen betragen z.B. bei Mangan ca. 500 bis 4000 g/ha, bei Bor 250 bis 500 g/ha und bei Zink 300 bis 500 g/ha. Eine noch spätere Blattdüngung ist aufgrund der Wuchshöhe dann nur mit spezieller hochbeiniger Spritztechnik möglich, die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ist aber kaum noch gegeben.

Die Düngung von Mikronährstoffen sollte also dringend vor der Saat über den Boden erfolgen. Da Wirtschaftsdünger über beachtliche Mengen an Mikronährstoffen verfügen, sollten in Vieh haltenden Betrieben diese den Bedarf des Maises mittel bis langfristig abdecken (Tabelle 22).

Tab. 22: Mittlere Mikronährstoffgehalte organischer Dünger

Element	Rindergülle 4 - 8 % TS ²⁾ g/m ³	Schweinegülle 4 - 8 % TS ²⁾ g/m ³	Hühnergülle 8 - 12 % TS ²⁾ g/m ³	Stalldung FM ³⁾ g/t	Klärschlamm TS ²⁾ g/t
B	1 - 3	2 - 4	2 - 4	3 - 6	10 - 100
Cu	2 - 6	4 - 20	2 - 5	2 - 5	12 - 6 800
Mn	8 - 25	10 - 30	30 - 50	30 - 60	60 - 4 300
Mo ¹⁾	50 - 120	130 - 200	60 - 150	400	10 - 100
Zn	10 - 20	15 - 70	15 - 50	50 - 300	180 - 2 000

1) Angaben in mg/m³ bzw. mg/t

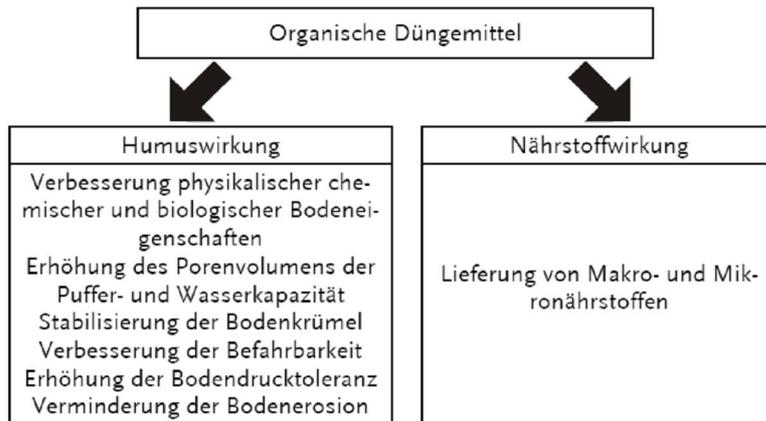
2) Trockensubstanz

3) Frischmasse

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

8 Organische Düngung

Die Wirkung organischer Dünger auf den Boden ist vielschichtig. Sie besteht einmal in der Verbesserung der Bodenfruchtbarkeit durch Humusanreicherung und zum anderen in der Nährstoffnachlieferung (Abbildung 21).



Eine kontinuierliche Zufuhr einer auf den Standort und die Fruchtfolge abgestimmte Menge organischer Dünger sichert die Reproduktion der Bodensubstanz. Organische Düngemittel enthalten neben unmittelbar verfügbaren Nährstoffen (löslichen Ammoniumstickstoff, Makro- und Mikronährstoffe), auch in organischer Substanz

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Abb. 21: Wirkung organischer Dünger auf den Boden

gebundene Nährstoffe. Diese werden im Verlauf der Vegetationsperiode, in Abhängigkeit von der Stabilität der organischen Substanz (C:N - Verhältnis), Termin der Ausbringung, Bodenart, Temperatur, Niederschlag und Wasserversorgung, für den Mais verfügbar.

Die unmittelbar verfügbaren Nährstoffe werden bei der Nährstoffbilanzierung immer zu 100 % angerechnet. Aufgrund der unterschiedlichen Zusammensetzung der organischen Dünger kann die N-Wirkung aber beträchtlich schwanken. Jauche hat mit einem 90 %igen Ammoniumstickstoffanteil eine fast vergleichbare Wirkung wie ein mineralischer N-Dünger, während Rindermist im Anwendungsjahr nur eine mineralische N-Wirkung von 25 % erreicht (Tabelle 23).

Tab. 23: Mindestwerte für pflanzenbauliche Stickstoffwirkung (MDÄ) zugeführter Wirtschaftsdünger im Ausbringungsjahr in % des ausgebrachten Gesamtstickstoffs¹⁾ bei langjähriger Anwendung

Tierart	Gülle	Festmist	Jauche
Rinder	50	25	90
Schweine	60	30	90
Geflügel	60 ²⁾	30 ³⁾	-
Pferde/Schafe	-	25	-

1) Basis: N-Ausscheidung abzgl. Lagerverluste bzw. analytische Ermittlung des N-Gehaltes vor der Ausbringung

2) inkl. Geflügel-Trockenkot

3) mit Einstreu

Quelle: Hinweise zur Umsetzung der novellierten Düngeverordnung (Stand 01.04.2007)

Welchen Anteile am Gesamtstickstoff der pflanzenverfügbare Ammoniumstickstoff in weiteren gebräuchlichen organischen Düngern hat, wie die Abbaubarkeit der organischen Substanzen einzustufen ist und wie hoch die kurzfristige N-Wirkung (MDÄ %) im Anwendungsjahr ist, kann der Tabelle 24 entnommen werden.

Der mit der organischen Düngung ausgebrachte bzw. freigesetzte Stickstoff wird durch den Mais besonders effektiv genutzt, da die Zeitspanne des Hauptnährstoffbedarfes und der Hauptmineralisation zeitlich zueinander passen. Hier kommt die späte Saat und die relativ lange Vegetationszeit optimal zum tragen.

Tab. 24: Parameter für die N-Verfügbarkeit ausgewählter org. Dünger

Dünger	Anteil (NH ₄ -N) in % vom Gesamt-N	C/N-Verhältnis	Abbaubarkeit der organischen Substanzen	kurzfristige N-Wirkung (MDÄ %)
Grunddüngung	0 - 10 (NO ₃ -N)	10 - 30	gering - mittel	10 - 40
Biokomposte	0 - 15	13 - 20	gering	0 - 20
Stallmist	5 - 20	12 - 15	gering	10 - 20
Klärschlamm dick	5 - 20	6 - 8	mittel	15 - 30
Trockenkot (Huhn)	5 - 30 (Harnsäure)	5	gut	60 - 70
Klärschlamm dünn	30 - 40	3 - 5	mittel	45 - 55
Gülle (Rind)	40 - 60	8	gering	35 - 45
Biogasreststoffe*				
• Stoffe pflanzlicher Herkunft	35 - 60	5 - 8	gering	40 - 60
• Kofermentation von Gülle mit				
- landw. Produktionsabfällen	45 - 70	2 - 4	gering	50 - 70
- pflanzlichen Abfällen	45 - 70	4 - 5	gering	50 - 70
- pflanz. und tier. Abfällen	45 - 70	2 - 3	gering	50 - 70
Gülle (Huhn)	60 - 80	4	mittel	70 - 85
Jauche	80 - 90	1 - 2	-	90 - 100

* Orientierungswerte

Quelle: DLG Mitteilungen, Dünger Magazin 2004

Quelle: KWS/ Maisanbauplaner – abgeändert

Die Ausbringung der organischen Dünger tierischer Herkunft nach guter fachlicher Praxis ist in der Düngeverordnung geregelt. Darin ist festgelegt, dass im Regelfall auf den bewirtschafteten Flächen im Betriebsdurchschnitt nur maximal 170 kg Gesamt - N/ha und Jahr aus Wirtschaftsdüngern ausgebracht werden dürfen. Für die Ermittlung der ausgebrachten Stickstoffmenge tierischer Herkunft sind die in Tabelle 25 angegebenen Mindestwerte in Prozent der Ausscheidungen an Gesamtstickstoff in Wirtschaftsdüngern nach Abzug der Stall- und Lagerungsverluste anzusetzen.

Tab. 25: Anzurechnende Mindestwerte in % der Ausscheidungen an Gesamtstickstoff in Wirtschaftsdüngern tierischer Herkunft

Tierart	Ausbringung nach Abzug der Stall- und Lagerungsverluste		Zufuhr nach Abzug der Stall-, Lagerungs- und Ausbringungsverluste	
	Gülle (%)	Festmist, Jauche, Tiefstall (%)	Gülle (%)	Festmist, Jauche, Tiefstall (%)
Rinder	85	70	70	60
Schweine	70	65	60	55
Geflügel	³⁾ 70	60	³⁾ 60	50
Andere (Pferde, Schafe)		55		50
Weidegang aller Tierarten ^{1), 2)}			25	

¹⁾ Bei ausschließlicher Weidegang - bei anteiliger Schnittnutzung sind für diese die Werte gemäß Spalte 4 bzw. 5 anzusetzen

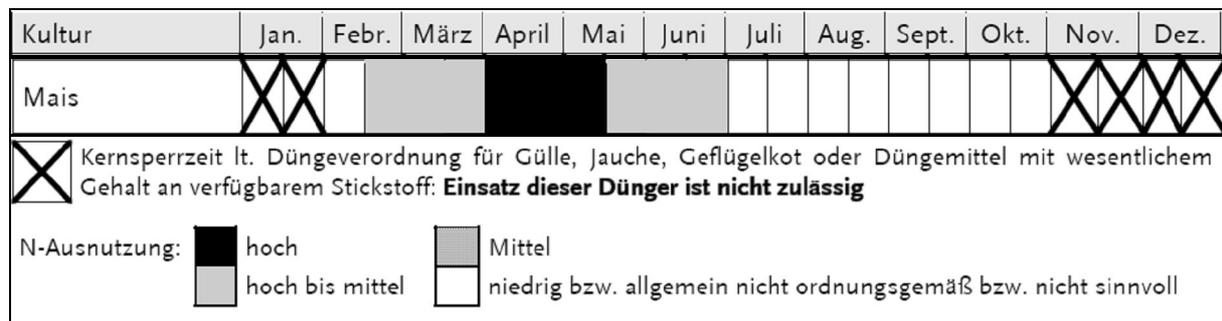
²⁾ Nicht für die Berechnung der 170 kg Grenzwerte (§§ 3, 4 Düngeverordnung) und der 80 kg Grenzwerte (§§ 4, 5 Düngeverordnung)

³⁾ Als Geflügelkot (flüssig) – Landesregelung in Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern und Sachsen-Anhalt

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Aber nicht nur die Deckung des Nährstoffbedarfes der Maispflanze ist wichtig, sondern, unter Beachtung von Abstandsauflagen zu Gewässern, Hangneigung und Bodenzustand, auch der

Der Ammoniumstickstoff der Gülle ist in der Wirkung dem Stickstoff aus Mineraldüngern gleichzusetzen. Durch sofortige Einarbeitung werden mögliche gasförmige Verluste vermieden. Die Humuswirkung ist hier aufgrund des engen C:N- Verhältnisses gering.



Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

Abb. 22: Ausbringungskalender für Gülle und Jauche

Die geringsten Verluste treten auf, wenn man die Gülle mittels Reihendüngung dem Mais „direkt ins Maul“ düngt und zwar nach der Saat bis zu einer Wuchshöhe von ca. 15 cm. Eine spätere Ausbringung ist zwar technisch möglich, es besteht jedoch die Gefahr, dass Teile des Güllestickstoff verspätet zur Wirkung kommen. Der N - Düngebedarf von Mais sollte aber aus Gründen der Ertragssicherheit und des Umweltschutzes nur bis max. 75 % mit Gülle abgedeckt werden, auch wenn die Düngeverordnung rechnerisch eine 100%-ige Bedarfsdeckung zulässt. Die Begrenzung ist sinnvoll, damit durch die schwer kalkulierbare Mineralisationsmenge eine Überversorgung vermieden wird und eine ungleichmäßige Verteilung halbwegs durch Mineraldünger ausgeglichen werden kann.

Bei der Wirkung von Phosphor, Kalium und Magnesium ist wie bei Stickstoff von 60 % im Ausbringungsjahr und 40 % in Folgejahr auszugehen. Bei regelmäßiger Anwendung ist wie bei Stalldung eine 100 %-ige Ausnutzung gegeben.

Jauche

Jauche besteht hauptsächlich aus Harn, Mistsickersaft, Kot und Wasser. Die Nährstoffgehalte schwanken in Abhängigkeit von der Herkunft sehr und sollten nach der Homogenisierung und noch vor der Ausbringung durch Analyse festgestellt werden. Die Besonderheiten bei Jauche sind die geringen TS-Gehalte und das der Stickstoff als Ammoniumstickstoff zu bis zu 90 % anorganisch gebunden vorliegt (Tabelle 25). Die direkte Nährstoffwirkung, verbunden mit hoher Verfügbarkeit im Anwendungsjahr, kennzeichnet diesen organischen Flüssigdünger. Um hohe Ausnutzungsraten (< 80 %) des Stickstoffes durch den Mais zu erzielen, sollte die Ausbringung kurz vor der Saat, besser während der Vegetation in Verbindung mit einer Einarbeitung erfolgen. Die Wirkung der Makro- und Mikronährstoffe ist bei Jauche ähnlich der der Gülle.

8.2 Stalldung und Geflügelkot

Stalldung hat aufgrund der hohen Anteile an organischer Substanz mit Langzeitwirkung einen positiven Einfluss auf die Bodenstruktur und das Bodenleben. In Verbindung mit seiner kontinuierlichen Nährstoffnachlieferung ist eine Ertragssteigerung vor allem bei Hackfrüchten wie auch bei Mais, zu beobachten. Die Ausnutzung des Stickstoffes durch die landwirtschaftlichen Kulturen ist jedoch sehr unterschiedlich. Bei Mais ist diese sehr hoch, weil dieser ein gutes Aneignungsvermögen (ausgeprägte Schleimentwicklung der Wurzeln) aufweist und über eine relativ lange Vegetationszeit einen hohen Bedarf hat, welcher durch Mineralisation im Boden nur teilweise gedeckt werden kann. Die Freisetzung und mittlere Wirksamkeit (MDÄ) von Stickstoff aus Stallmist ist aufgrund der hohen Anteile von organisch gebundenem Stickstoff länger anhaltend und beträgt in der Regel 2 bis 3 Jahre. Im Anwendungsjahr rechnet man mit einem N-Mineralisationsäquivalent von 25 bis 30 %, was

einer pflanzenverfügbaren Stickstoffmenge von ca. 50 bis 60 kg/ha entspricht. In den Folgejahren fällt die Stickstofffreisetzung dann deutlich geringer aus.

Die optimale einmalige Stalldungaufwandmenge zu Mais beträgt 250 bis 400 dt/ha je nach Bodenart und Nährstoffgehalt und steht in enger Beziehung zum Ton- und Dauerhumusgehalt des Bodens. Daraus ergibt sich für die praktische Düngung zu Mais, dass Stalldung auf leichten Standorten hauptsächlich in kleinen Gaben im Frühjahr (März) zur Kultur ausgebracht werden sollte und auf schweren Standorten höhere Stalldunggaben im Herbst (Oktober/November), nach Räumung der Vorfrucht, möglich sind. Stalldung auf leichteren Standorten im Herbst führt generell durch hohe Mineralisation und Nitrifikation zu höheren Stickstoffverlusten und ist daher nicht zu befürworten. Dagegen im Herbst auf schwereren Böden ausgebrachten Stalldung führt noch vor dem Winter durch Mineralisation zu Stickstofffreisetzung und bei geringer Auswaschung steht dieser den Pflanzen zu Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr dann eher und in höherer Konzentration zur Verfügung.

Generell muss bei Frühjahrs- und Herbstausbringung immer eine schnelle Einarbeitung erfolgen, um die Gasverluste möglichst gering zu halten. Einarbeitungstiefen auf leichten Standorten sind 15 bis 20 cm, während auf schweren Böden nur 10 bis 15 cm angestrebt werden. Zu berücksichtigen sind bei der Düngplanung immer die tierartenabhängigen unterschiedlichen Nährstoffgehalte (Tabelle 27).

Tab. 27: Richtwerte für Nährstoffgehalte in Stalldung und Geflügelkot

Gruppe	Tierart/Düngerart	Nährstoffgehalte in der Frischmasse in kg/t bzw. kg/m ³								
		TS %	N ₁₎	NH ₄ -N ₁₎	P	P ₂ O ₅	K	K ₂ O	Mg	MgO
Stallmist	Rind	25	6,1	1,2	1,41	3,24	10,34	12,47	0,80	1,33
	Schwein	25	7,1	1,8	2,35	5,39	5,39	6,49	1,30	2,16
	Rind, Schwein	25	6,6	1,5	1,88	4,31	7,87	9,48	1,05	1,75
	Schaf	30	9,0	2,7	2,35	5,39	16,15	19,46	1,10	1,83
	Ziege	30	7,3	2,2	2,33	5,35	14,63	17,63	1,10	1,83
	Pferd	25	4,5	1,4	1,66	3,81	4,99	6,01	1,10	1,83
	Geflügel	45	16,9	5,9	6,61	15,15	14,40	17,35	2,30	3,82
Geflügelkot	Hühnerfrischkot	12	9,1	3,0	4,70	10,77	5,70	6,87	0,90	1,49
	Hühnerfrischkot	28	17,1	5,0	4,76	10,90	6,89	8,30	2,40	4,00
	Hühnertrockenkot	45	25,7	9,8	9,04	20,70	15,00	18,00	2,82	6,93
	getrockneter Hühnerkot	70	32,1	11,0	13,48	30,90	18,09	21,80	4,74	7,90

(1) Stall- und Lagerungsverluste sind bei Stallmist, Jauche und Gülle berücksichtigt

Quelle: Fachinformationen „Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der DüV“

Die Wirkung der Makronährstoffe aus Stalldung ist bodenartabhängig (Tabelle 28) und erreicht bei Kalium und Magnesium auf leichteren Böden aufgrund der Auswaschung nur etwa 60 bis 80 %, auf schwereren Böden können 80 bis 100 % Ausnutzung erzielt werden.

Tab 28: Mittlere Wirksamkeit (MDÄ) von Kalium und Magnesium aus Stalldung

Bodenart (Bodengruppe)	MDÄ
Sandböden (BG 1 und 2) Herbsdüngung	60- 80
lehmige Sandböden (BG 3) Herbsdüngung	80
andere Böden (BG 4,5 und 6)	100

Quelle: O. Rühlmann, „Wirtschaftsdünger effektiv und umweltschonend lagern und einsetzen“

Bei Phosphor rechnet man im Anwendungsjahr mit 60 %iger Wirkung und im Folgejahr mit ca. 40 %, es kann also eine 100 %ige Ausnutzung in 2 Jahren unterstellt werden.

Düngung mit Biogasgärresten

Mit der stetig steigenden Anzahl von Biogasanlagen erhöht sich der Anfall von Gärsubstraten. Diese Gärsubstrate basieren hauptsächlich auf Wirtschaftsdünger (Gülle, Festmist) in Verbindung mit nachwachsenden Rohstoffen (90 % der Anlagen), sowie in geringem Umfang werden auch pflanzliche und tierische Reststoffe eingesetzt (Tabelle 29).

Tab. 29: Ausgangssubstrate von Biogasgülle

Basissubstrate		(Ko-) Substrate		
Wirtschaftsdünger	Nachwachsende Rohstoffe	Pflanzliche Reststoffe (BioAbfV)	Tierische Reststoffe (EU-Hygiene-VO)	Sonstige organische Reststoffe
Rindergülle Schweinegülle Hühnergülle Festmist	Silomais Grassilage Maissilage Rübenblattsilage Getreide- Ganzpflanzensilage Sonnenblumen Hirse Sudangras	Bioabfall pflanzliche Rückstände aus der Lebens-, Genuss- und Futtermittelindustrie Ölsaatenrückstände Melasse Biertreber	Schlachtabfälle Fette und Fettrückstände Speisereste Knochenmehl Fleischknochenmehl Fleischmehl	Glycerin Alkohol

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

In Abhängigkeit von den eingesetzten Stoffen sind verschiedene rechtliche Vorschriften wie: Düngeverordnung, Düngemittelverordnung, Bioabfallverordnung und das Tierische Nebenprodukte- und Beseitigungsgesetz zu beachten.

Zur Erzielung hoher Gasausbeuten werden hauptsächlich aber Maissilage, Körnermais und Getreide in Verbindung mit Gülle eingesetzt. Im Vergleich mit anderen Kofermenten erreicht Silomais aufgrund seiner hohen Massebildungsfähigkeit (> 400 dt/FM je ha, auch unter den Trockenbedingungen in Sachsen-Anhalt möglich) und mittleren Gasausbeute von 0,6 m³/kg oTS, hohe Methanhektarerträge und ist in der Regel das wirtschaftlichste Biogassubstrat. Energiemaissilage wird ähnlich wie Silomais produziert und ist durch eine schlagkräftige, durchmechanisierte Verfahrenskette und eine einfache Konservierbarkeit gekennzeichnet, was wiederum zu relativ günstigen Erzeugungskosten führt.

Der bei der Methanerzeugung stattfindende Vergärungsprozess von Kofermenten in Verbindung mit Wirtschaftsdünger, führt zur Veränderung der Eigenschaften des Substrates im Vergleich zu „normaler Gülle“ (Tabelle 30). Grundsätzlich zeigt sich die Tendenz, dass der TS-Gehalt sinkt und der pH-Wert steigt. Der P₂O₅- Gehalt im Gärrest ist im Vergleich zu normaler Gülle leicht erhöht. Ein weiterer Effekt ist, dass ein höherer Prozentsatz an schnell verfügbaren Ammoniumstickstoff (55 bis 70 %) vorliegt, welcher hier zu 75 % bei der Düngeplanung anrechenbar ist. Um nach der Ausbringung der Gärreste auf dem Acker die Verluste beim Stickstoff durch Lachgas- und Nitratbildung so gering wie möglich zu halten, ist eine schnelle Einarbeitung in den Boden noch wichtiger als bei unbehandelter Gülle. Eine genaue Düngemengenplanung ist aufgrund fehlender Erfahrungen mit Gärresten nur mit Ergebnissen aus Gärrestuntersuchungen möglich und dringend anzuraten.

Der Einsatz von Nitrifikations- und Ureasehemmstoffen gewinnt durch die Verschiebung des Stickstoffverhältnisses somit an Bedeutung. Durch die Zusetzung von Stickstoffstabilisatoren könnte der in der Gülle enthaltene höhere Ammoniumstickstoff dann länger pflanzenverfügbar gehalten werden (siehe Gliederungspunkt 9)

Tab. 30: Eigenschaften von Biogasgülle

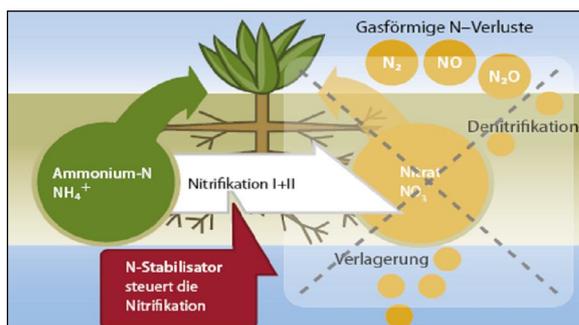
Merkmal	Veränderungen gegenüber "normaler" Gülle
pH-Wert	höhere pH-Werte, daher größeres Risiko von Stickstoffverlusten durch Ammoniakverflüchtigung
Stickstoffgehalt	Gesamtstickstoffmenge wird durch Vergärungsprozesse kaum beeinflusst. Zersetzung der organischen Substanz erhöht den Anteil an Ammoniumstickstoff
weitere Nährstoffe	kaum Beeinflussung
Trockensubstanzgehalt	Reduktion des TS-Gehaltes, dadurch bessere Fließfähigkeit, günstigeres Ablaufverfahren und schnelles Eindringen in den Boden
C:N-Verhältnis	Verengung durch Kohlenstoffabbau zu Methan und CO ₂ ; dadurch schnellere N-Wirkung
Geruch	geringe Belästigung aufgrund weniger flüchtiger Fettsäuren

Quelle: Düngung in Thüringen 2007 nach „Guter fachlicher Praxis“

9 Einsatz von Nitrifikationshemmstoffe

Nitrifikationshemmer

Nitrifikationshemmer wie z.B. Piadrin zu Gülle, oder andere, dem Handelsdünger zugemischt oder direkt auf der Fläche ausgebrachte Wirkstoffe haben die Aufgabe, die Umsetzung von Ammonium zu Nitrat zu verzögern. Diese Verzögerung der Nährstoffverfügbarkeit ist bei der Maisdüngung von Vorteil, weil damit der späte Nährstoffbedarf (mit dem Massenwachstum im Juni einsetzend und Mitte August schon beendet) des Maises bei früher N-Düngung (organisch und mineralisch) besser aufeinander abgestimmt wird. Mais nimmt wie alle Pflanzen, Stickstoff in Ammonium- und Nitratform auf, wobei letzterer schneller und über den Bedarf hinaus (Luxuskonsum) aufgenommen wird. Nitratstickstoff ist dabei in der Bodenlösung frei beweglich und besonders verlustgefährdet. Nicht von der Pflanze sofort aufgenommener Nitratstickstoff wird in feuchten und wassergesättigten Böden ausgewaschen, oder führt nach mikrobieller Umsetzung (Denitrifikation) zu gasförmigen Stickstoffverlusten in Form von Lachgas, molekularem Stickstoff oder Stickoxiden (Abbildung 22).



Quelle: SKW Piesteritz

Abb. 22: Reduzierung der N-Verluste durch Stabilisierung

Ammoniumstickstoff betonte Düngung verbessert das Wurzelwachstum, verhindert Luxuskonsum und minimiert Verluste. Bedarf und Konsum des Stickstoffdüngers wird ausschließlich durch die Pflanze gesteuert. Da im Boden auch Bakterien aktiv sind, welche durch mikrobielle Oxidation aus Ammonium Nitrit entstehen lassen der zu Nitrat oxidiert (Nitrifikation), wird in wenigen Tagen aus dem überschüssigen organischen mineralischen Ammonium die Nitratform.

Die Lösung des Problems sollen die Nitrifikationshemmstoffe sein, die die mikrobielle Umsetzung in Nitrat deutlich verzögern. Diese angestrebte Stabilisierung um vier bis zehn Wochen im Frühjahr ist Temperatur, Boden und pH-Wert abhängig und gelingt nicht immer. Mit steigender Temperatur und Feuchtigkeit im Frühjahr nimmt die Mineralisation zu,

organisch gebundener Stickstoff wird verstärkt über Ammonium zu Nitrat umgebaut, gleichzeitig geht die Wirkung der Nitrifikationshemmer deutlich zurück weil sie auch abgebaut werden. In wie weit die positive Wirkung auf Ertrag, N-Bilanz und Gewässerschutz letztendlich eintritt, müssen weitere Versuche belegen. Es kann bei ungünstiger Witterung auch zu Ertragsminderung, N-Überhang und Grundwasserbelastung kommen, da man sich bei der Düngung auf die Wirkung der Mittel verlässt.

Ureasehemmstoffe

Ureasehemmer sollen die neuen Wirkstoffe der Zukunft werden, die die Emission stickstoffhaltiger Verbindungen, in erster Linie Ammoniak verhindern sollen. Dieser entsteht beim Abbau von harnstoffbasierten Dünger bzw. tierischem Harnstoff durch das in der Natur weit verbreitete Enzym Urease. Die synthetisierten Substanzen sollen in Verbindung mit dem Dünger die Reaktion des Enzyms Urease mit dem Harnstoff verzögern, damit der Boden den freigesetzten Ammoniak vollständig sorbiert und dieser als Ammonium- oder Nitratstickstoff von den Pflanzen möglichst vollständig aufgenommen werden kann.

Denkbar ist zukünftig auch die Kombination von Urease- mit Nitrifikations- Inhibitoren zu einem noch effizienteren Boden- Grundwasser- und Klimaschutz in der Landwirtschaft. Das würde, bei entsprechender Publikation, zu einer besseren Akzeptanz des Maisanbaues beitragen, welcher im Moment durch den Biogasboom eine rasante Anbauerweiterung erfährt.

Literaturverzeichnis:

1. Rühlmann, O.: Wirtschaftsdünger, effektiv und umweltschonend lagern und einsetzen, Sachsen-Anhalt 2000 – LUFA
2. Zorn, W.; Heß, H.; Albert, E.; Kolbe, H.; Kerschberger, M.; Franke, G.; Düngung in Thüringen nach „Guter fachlicher Praxis“, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Nov. 2007.
3. Mais Anbauplaner, KWS Mais GMBH
4. Wendland, M.; Offenberger, K.; N-Düngung zu Mais, Bayrisches Landwirtschaftliches Wochenblatt 14/2007
5. v.Wulffen,U.; Roschke, M.; Kape, H-E.; Richtwerte für die Untersuchung und Beratung sowie zur fachlichen Umsetzung der Düngeverordnung (DÜV), Sachsen-Anhalt 2008,
6. Lausen,P.; Bedarfsgerechte Maisdüngung schont den Geldbeutel und das Gewässer, Landpost, April 2010
7. ANONYM; Kalkung, Ratgeber 2009 LWK Nordrhein-Westfalen
8. Würfel, TH.; Hugger, H.; Pfeleiderer, H.; Umweltschonender Maisanbau, Merkblätter für die Umweltgerechte Landbewirtschaftung, Juli 2002, Landesanstalt für Pflanzenbau Baden-Württemberg
9. ANONYM; Profitabler und umweltgerechter Düngen mit stabilisierten Stickstoff, SKW Piesteritz,
10. Autorenteam; DLG Merkblatt 353 Hinweise zur Kalkdüngung, 11/2009
11. Holz, F.; Grundlagen der Düngebedarfsermittlung für eine gute fachliche Praxis beim Düngen, LUFA Sachsen-Anhalt
12. Niclas, H-J.; Innovativer Dünger schont die Umwelt, Zeitschrift Agrartechnik S. 60-61
13. ANONYM; Leitfaden Erfolgreicher Maisanbau, Bayer CropScience Deutschland GmbH, 2008
14. Zorn, W.; Marks, G.; Mikronährstoffdüngung im Ackerbau Thüringens, Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Mai 2008
15. Kape, H-E.; v. Wulffen, U.; Roschke, M.; Hinweise zur Probenahme von Boden, Pflanzen und Düngemitteln, Gemeinsame Hinweise der Länder Brandenburg, Mecklenburg-Vorpommern, Sachsen-Anhalt. Herausgeber für Sachsen-Anhalt: LLFG Sachsen-Anhalt 2009
16. ANONYM; Leitlinien für eine ordnungsgemäße Landbewirtschaftung Land Sachsen-Anhalt