

Wirkungsgrad organischer Düngemittel auf Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Ökologischen Landbau

Dr. Hartmut Kolbe, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, Fachbereich Pflanzliche Erzeugung

1 Einleitung

Neben einer günstigen Fruchtfolgestellung hat die Auswahl einer geeigneten Art und Höhe an organischer Düngung eine entscheidende Bedeutung im erfolgreichen Kartoffelanbau. Es ist allgemein bekannt, dass Kartoffeln sehr zuträglich sind für eine hohe Versorgung mit organischer Substanz. Wenn in einer Fruchtfolge organische Düngemittel zur Ausbringung anstehen, sollten diese Düngemittel dann vorsorglich zu Kartoffeln verabreicht werden (MÖLLER et al., 2003).

In Anlehnung an die Düngungspraxis im Gemüsebau (siehe LABER, 2000, 2002), ist es auch für den ökologischen Kartoffelbau von Vorteil, die einzelnen hofeigenen Düngemittel sowie auch die Zukaufdüngemittel in ihrer Wirkung auf Ertrag und Qualität der Kartoffeln einschätzen zu können, damit sie optimal mit bester Wirkung eingesetzt werden können. Außerdem bestehen Anforderungen aus der neuen Düngeverordnung (DÜV, 2006), Kalkulationen über die Düngungsbemessung der Fruchtarten durchzuführen und zu dokumentieren.

2 Material und Methoden

Da für dieses Vorhaben Ergebnisse aus einzelnen Versuchen oft nicht ausreichen um eine fundierte Aussage treffen zu können und Ergebnisse zudem aus dem Ökolandbau bisher auch nur in begrenzter Zahl zur Verfügung stehen, wurden viele in der Literatur dokumentierte bzw. bisher unveröffentlichte Versuche zusammengelegt und einer gemeinsamen Auswertung zugeführt. Diese Öko-Versuche fanden unter verschiedenen Standortbedingungen (Boden, Klima) Deutschlands statt. Eigene Feldversuche, die meistens vom Ökofeld Roda in Sachsen stammen, wurden in die Auswertungen integriert, so dass sowohl regional abgegrenzte als auch allgemein gültige Aussagen ermöglicht werden.

Die Daten über die Erträge und Zusammensetzung der Kartoffelknollen aus den verschiedenen Versuchen wurden zunächst auf Ausreißer getestet. Danach erfolgte von jeder Versuchsreihe eine Subtraktion der Daten für die Erträge sowie der Inhaltsstoffe aus den Standard-Varianten (ohne Düngung). Die Höhe der Düngungszufuhr wurde nicht durch Angabe der TM-Mengen, sondern in Form der mit der Düngung insgesamt zugeführten N-Mengen charakterisiert. Diese Vorgehensweise gewährleistet einen besseren Vergleich der Wirkung der einzelnen Düngemittel. Stickstoff wurde als Vergleichsmaßstab gewählt, weil dieser Nährstoff besonders im Ökolandbau als begrenzendes

und zudem relativ teures Betriebsmittel anzusehen ist. Die Auswertungen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS durch Nutzung der Regressionsanalyse durchgeführt.

Nachfolgend genannte Literaturangaben wurden für die Auswertungen zur Wirkung von organischen Düngemitteln auf Erträge und Qualität von Kartoffelknollen herangezogen:

- Kompostanwendung (Stallmistkompost, Grüngutkompost): KLEIN (1968); ABELE (1987); BESSON et al. (1991); MATHIES (1991); STEIN-BACHINGER (1993); NEUHOFF (2000); SCHULZ (2000); KOLBE (2006b)
- Stalldung: PETERSSON & ENQUIST (1964); BÖHM & DEWES (1997); PAGEL & HANF (1997); NEUHOFF (2000); SCHULZ (2000); DEBRUCK (2000); BÖHM (2001); BRUNSCH (2002); KOLBE (2006b)
- Gülle (Rindergülle): ASMUS et al. (1973); REHBEIN (1982); BÖHM (2001); KOLBE (2006b)
- Organische Handelsdünger: KLEIN (1968); ROSIGKEIT (1973); MATHIES (1991); PAFFRATH (1999, 2001); DEBRUCK (2000); LWK (2001); PAFFRATH et al. (2003).

3 Ergebnisse

3.1 Kompost

Zum Einsatz von verschiedenen Kompostarten liegen einige Ergebnisse vor. In der Regel wurde Stalldung-Kompost eingesetzt, aber auch andere Arten, wie z.B. Grüngutkompost, wurden in einmaliger Anwendung sowie auch in Daueranwendung getestet (Kompostwirtschaft). Komposte zählen allgemein zu den Düngemitteln mit sehr geringer direkter Wirkung und einer ausgeprägten nachhaltigen Wirkung. In Kompostversuchen mit Ortswechsel, d.h. nach jeweils nur einmaliger direkter Anwendung vor Kartoffeln wurden daher nur geringe Ertragseffekte erzielt (Abb. 1). Es werden Zuwächse zwischen annähernd 0 dt/ha und 50 dt/ha an Knollenerträgen erhalten. Über den gesamten Düngungsbereich ist eine stetig steigende Wirkung auf die Knollenmehrerträge zu erkennen. Mit steigendem Einsatz an Kompostmenge ist eine verhältnismäßig geringe Abnahme der Nährstoffeffizienz festzustellen. Im Durchschnitt wird bei einer Zufuhrmenge von 100 kg N/ha (ca. 150 dt/ha Kompost) ein Mehrertrag von ca. 20 dt/ha erreicht (0,197 dt/1 kg N/ha). Bei einer doppelt so hohen einmaligen Kompost-Menge liegt der Mehrertrag bei 33 dt/ha (0,167 dt/1 kg N/ha).

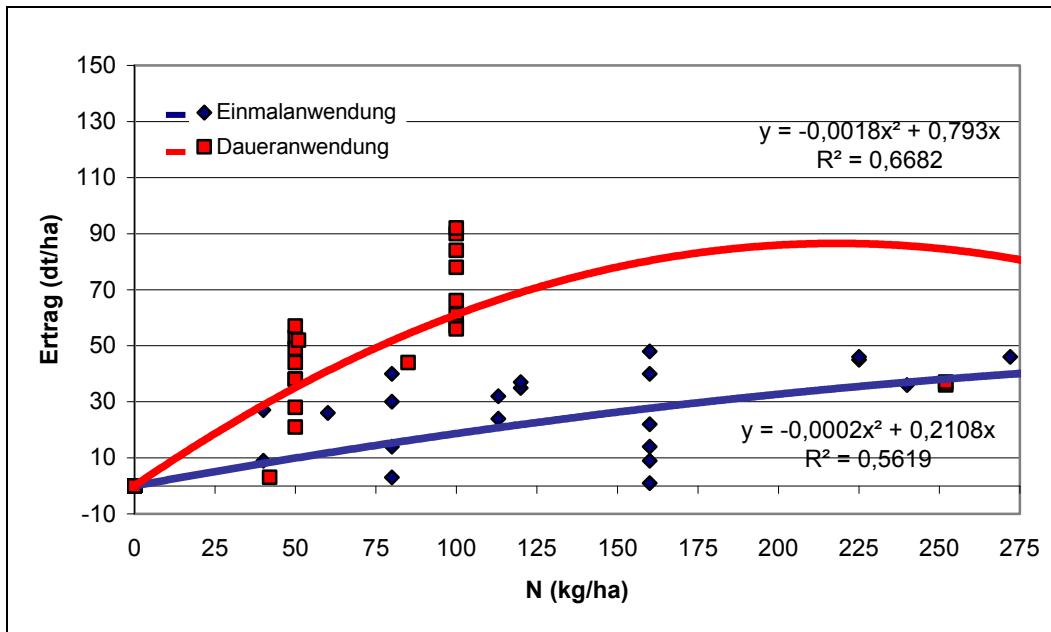


Abbildung 1: Einfluss steigender Gaben an Kompost (berechnet auf der Basis Gesamt-N) nach einmaliger und jährlicher Applikation auf die Knollenerträge von Kartoffeln (mittl. Standardertrag = 222 dt/ha)

Werden die Kompostmengen jedes Jahr dem Feld zugeführt, so kommt es bekannterweise zu einer Anhebung der Humusgehalte des Bodens. Die Humuswirkung durchschnittlicher Komposte liegt nach Vorgaben der VDLUFA-Methode zur Humusbilanzierung (KÖRSCHENS et al., 2004) bei 96 kg C/t Kompost. Nach neueren Auswertungen von vielen Dauerversuchen können diese Werte aber nur für rel. geringe jährliche Düngungsmengen von unter 100 dt/ha Kompost bestätigt werden. Die Humuswirkung sinkt bei höheren Aufwandmengen von über 200 dt/ha Kompost auf ca. 60 kg C/t Kompost ab. Die Humuswirkung nimmt also bei steigender Aufwandmenge etwas ab. Durch diese entsprechend den jährlichen Zufuhrmengen unterschiedlich intensive Kompostwirtschaft (z.B. im Gemüsebau) kommt es neben der Zunahme der Humusgehalte noch zu weiteren günstigen Wirkungen bestimmter Bodeneigenschaften. Hervorzuheben ist insbesondere die verbesserte Bodenstruktur, die besonders beim Kartoffelanbau durch günstige Wachstumseigenschaften von Vorteil ist. Diese nachhaltige Wirtschaftsweise hat natürlich auch Auswirkungen auf die zu erwartenden Erträge der Kulturarten.

Wie aus Abbildung 1 zu ersehen ist, wird bei dauerhafter Kompostanwendung im Vergleich zu keiner organischen Düngung ein deutlich höherer Knollenertrag erzielt. Die Ertragszuwächse liegen bei einer jährlichen Zufuhr von 100 kg N/ha in Form von Kompost bei ca. 65 dt/ha. Entsprechend dieser Nachwirkung des Kompostes werden auch deutlich höhere Verwertungskoeffizienten für den direkt zugeführten Stickstoff gefunden als bei nur einmaliger Kompostanwendung. Diese Ergebnisse müssen allerdings zunächst als vorläufig eingestuft werden, weil für einen weiten Bereich in der

Aufwandmenge an Kompost bisher keine Versuchsergebnisse vorliegen. Es ist darüber hinaus zu bedenken, dass durch eine ausgeprägte Kompostwirtschaft zwar mit deutlich positiven Ergebnissen gerade im Kartoffelanbau zu rechnen ist, die Kompostanwendung aber auch relativ aufwändig und teuer ist. Die Herstellung ist zudem mit z.T. hohen Kohlenstoff- und Nährstoffverlusten verbunden.

Die günstigsten Verwertungsraten werden immer bei rel. geringen Aufwandmengen an Kompost vorgefunden. Aus Abbildung 1 ist aber zu erkennen, dass günstige Verwertungsraten über einen weiten Anwendungsbereich bestehen. Daher sind für praktische Zwecke optimale Aufwandmengen für die direkte Anwendung zwischen 75 kg N/ha und 200 kg N/ha anzusiedeln, das entsprechen in etwa Aufwandmengen zwischen 100 dt und 300 dt/ha an Kompost.

Mit einer Kompostdüngung kann auch die Qualität der Knollen beeinflusst werden (Abb. 2 u. 3). Mit steigender Aufwandmenge ist allerdings keine Veränderung der P-Gehalte sowie der N-Gehalte in den Knollen verbunden. Auch bei hohen Aufwandmengen ist kaum eine Überversorgung mit Stickstoff zu erwarten, so dass für den Menschen ernährungsphysiologisch nachteilige Verbindungen, wie freie Aminosäuren, Amide sowie Nitrat, in den Knollen kaum angereichert werden können. Auch aus anderen Versuchen ist bekannt, dass die Nitratgehalte in den Knollen insbesondere bei Zufuhr von Festmistern und Komposten verhältnismäßig niedrig bleiben (siehe KOLBE et al., 1995; MEINEKE, 1995).

Die Werte an Kalium können dagegen mit steigendem Komposteinsatz angehoben werden (Abb. 2). Bei niedrigen Gaben werden bereits um 0,10 % und bei höhern Gaben um durchschnittlich 0,20 % K i.d. TM höhere Werte in den Knollen gefunden als in den Varianten ohne Kompostdüngung. Da dem Kalium eine z.T. deutliche Wirkung auf die Qualität der Knollen zukommt, können diese Zusammenhänge für eine direkte Beeinflussung genutzt werden. Es müssen in diesen Fällen aber rel. hohe Aufwandmengen an Kompost gedüngt werden, damit eine deutliche Wirkung zu verzeichnen ist. So ist es möglich, mit hohen Kompostmengen günstige Wirkungen auf die Verfärbungsneigung der Knollen (Rohbrei, Blaustabilität) zu erzielen (KOLBE, 2006a). Wie aus Abbildung 3 zu sehen ist, erfolgt nach steigenden Kompostgaben dann eine Abnahme der Trockenmassegehalte, während die Stärkegehalte kaum beeinflusst werden.

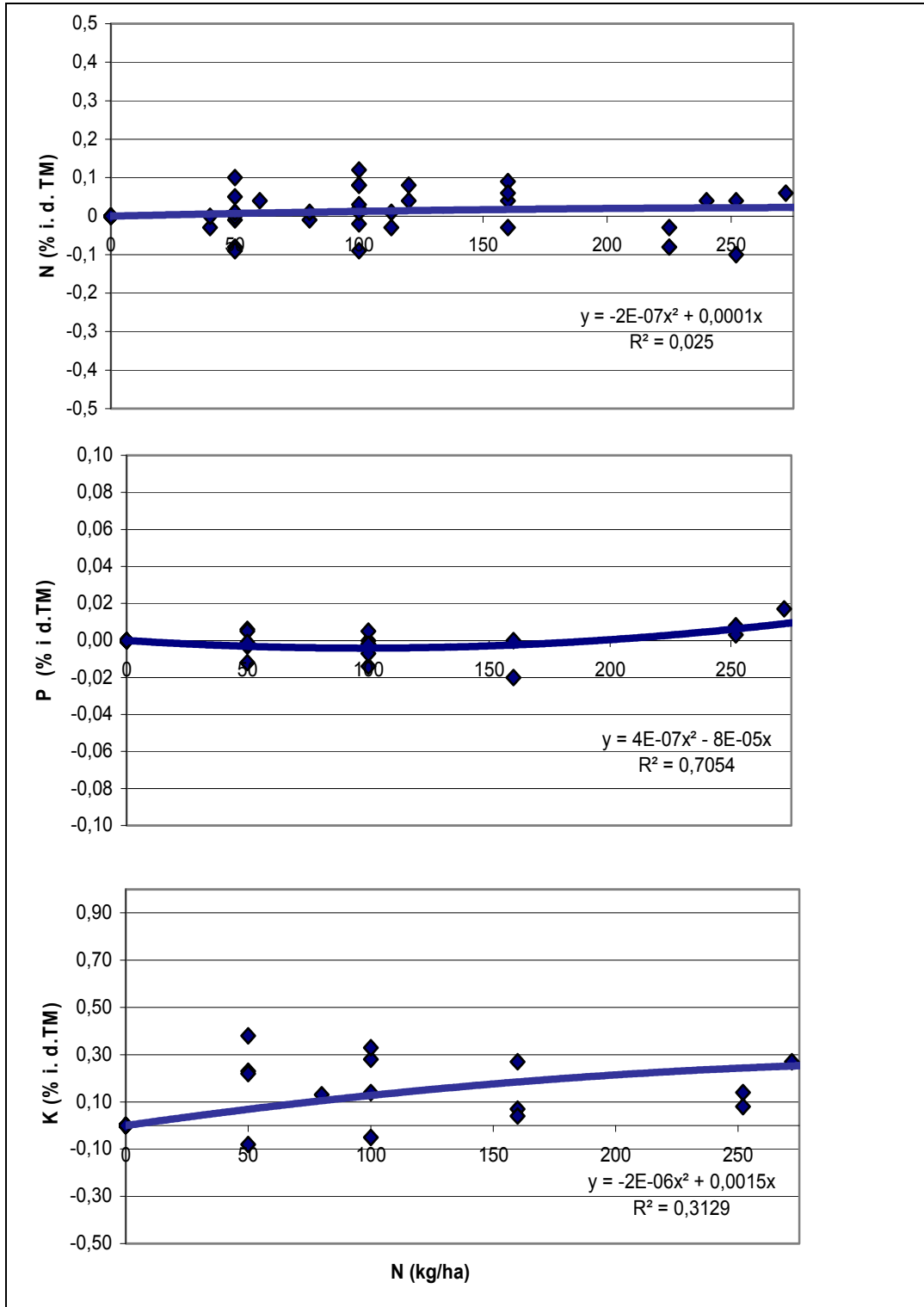


Abbildung 2: Einfluss steigender Kompostgaben (berechnet auf Basis Gesamt-N) auf die Veränderung der Gehalte an N, P und K in Kartoffelknollen (mittl. Gehalte d. Standardparzellen: N = 1,56 %, P = 0,20 %, K = 1,81 % i. d. TM)

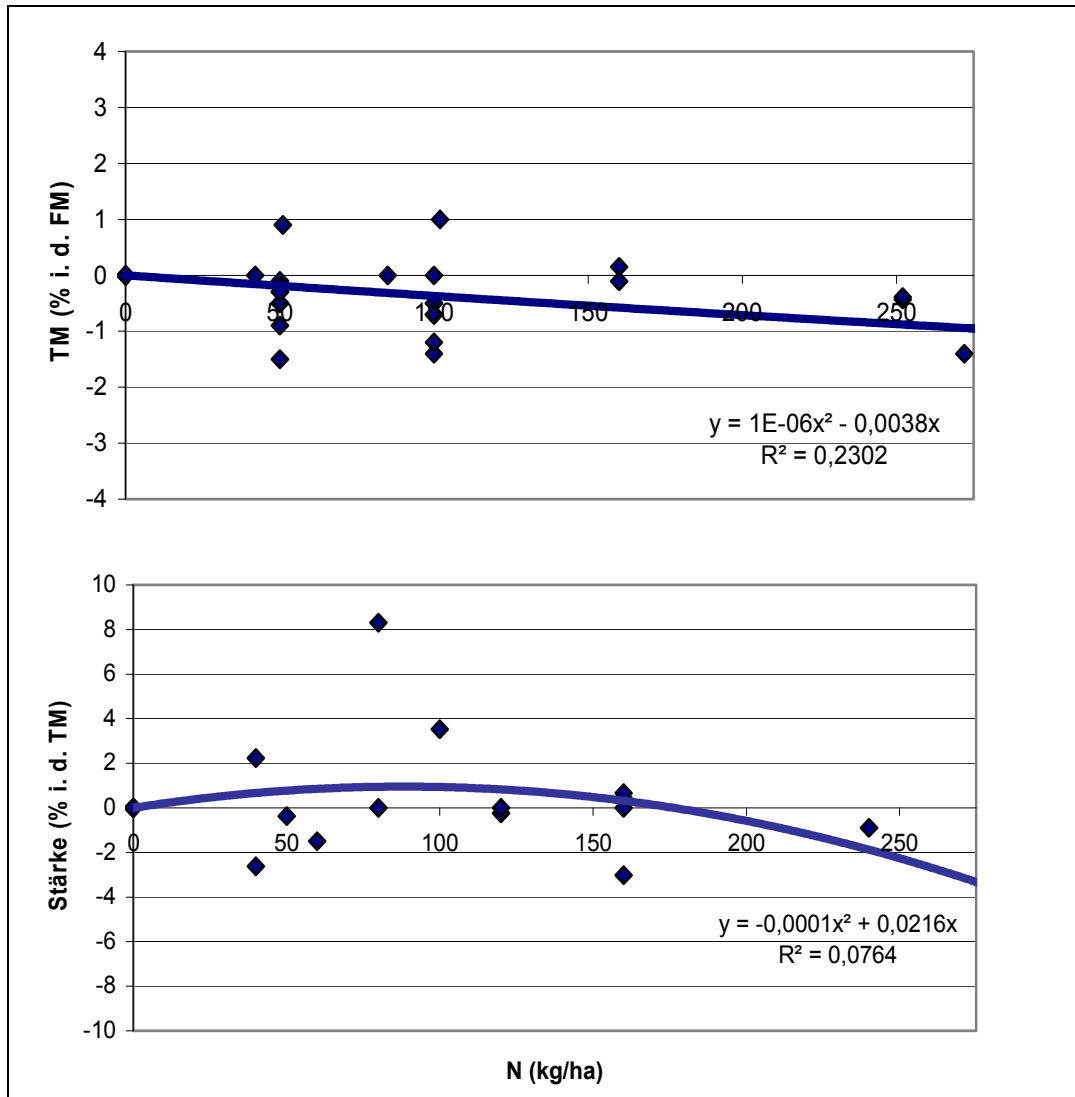


Abbildung 3: Einfluss steigender N-Zufuhr in Form von Kompost auf die Veränderung der Gehalte an Trockenmasse und Stärke in Kartoffelknollen (mittl. Gehalte d. Standardparzellen: Trockenmasse = 19,3 % i. d. FM, Stärke = 69 % i. d. TM)

3.2 Stallung

Stallung ist im Ökolandbau ein weit verbreiteter Wirtschaftsdünger, meistens stammt er aus der Rinderhaltung. Zu dieser Düngerart liegen viele Versuchsergebnisse vor, so dass sowohl für die einmalige als auch für die Daueranwendung gesicherte Ergebnisse und Wirkungsgrade abgeleitet werden können (Abb. 4). Es besteht eine erhebliche Streubreite der Wirkung in der Form, dass annähernd keine Mehrerträge, aber auch Ertragszuwächse von 100 dt/ha vorkommen können. Bei einmaliger Anwendung direkt vor dem Kartoffelanbau von umgerechnet 100 kg N/ha (ca. 200 dt/ha Stallmist) ist mit einem Ertragszuwachs an Knollen von nicht ganz 30 dt/ha (genau 0,28 dt/1 kg N) zu rechnen. Wird die Zufuhrmenge verdoppelt, so stellt sich kaum noch ein zusätzlicher Mehrertrag ein. Es ist zu erkennen, dass im Vergleich zur Kompostdüngung im Durchschnitt ca. 50 % höhere Erträge erzielt werden können. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass mit dem Einsatz von Stallung bereits eine deutlichere direkte Wirkung im Anwendungsjahr verbunden ist.

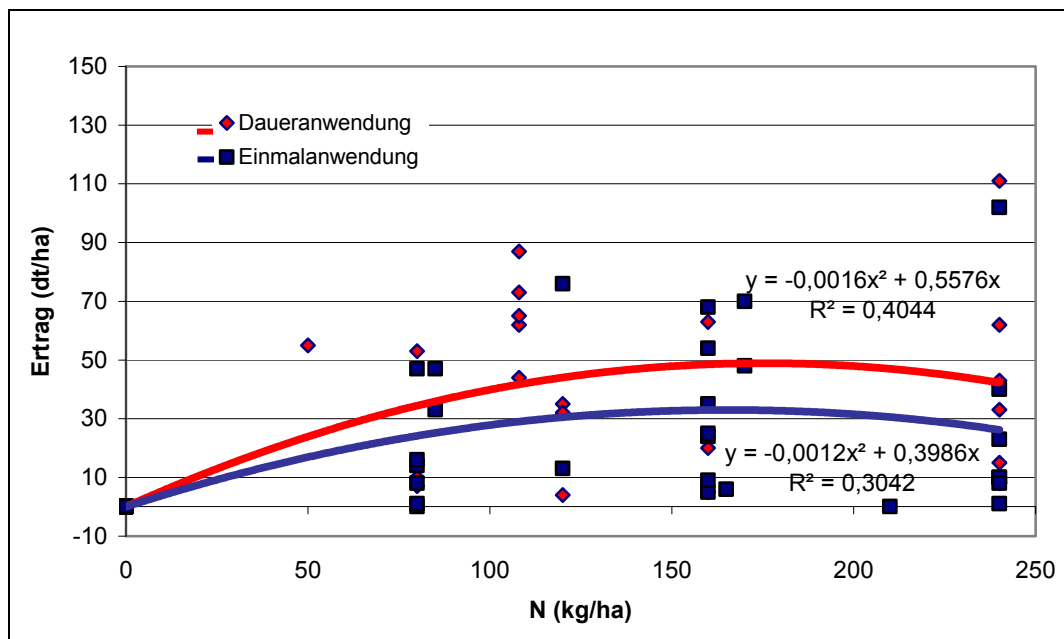


Abbildung 4: Einfluss steigender Gaben an Stallung (berechnet auf Gesamt-N) nach einmaliger und jährlicher Applikation auf die Knollenerträge von Kartoffeln (Standard = 255 dt/ha FM)

Durch einen Vergleich der Humifizierungskoeffizienten von Stallung mit denen von Kompost wird deutlich, dass dem Stallung mit ca. 40 kg C/t eine nur halb so hohe Humuswirkung zukommt. Auch bei Stallung ist mit einer abnehmenden Humifizierungswirkung in Folge steigendem Einsatz zu rechnen. Es stellen sich bei Daueranwendung höhere Humusgehalte ein, die dazu führen, dass die Nachlieferung aus dem Boden und Aufnahme an Nährstoffen durch den Pflanzenbestand dann ansteigen.

Daher ist auch bei dauerhafter Anwendung von Stalldung mit deutlich höheren Ertragszuwächsen zu rechnen, die aber nicht die sehr gute Nachwirkung der Kompostanwendung erreichen dürften (vgl. Abb. 1 u. 4). Im Durchschnitt liegen die Knollenerträge bei 100 kg N-Einsatz je ha und Jahr durch Stalldung bei 40 dt/ha (0,40 dt/1 kg N). Es werden also um etwas über 10 dt höhere Erträge bei dauerhafter Stalldunganwendung gefunden als im Vergleich zu einer einmaligen direkten Anwendung vor dem Kartoffelanbau.

Nach einer Verdopplung der jährlichen Zufuhrmenge an Stalldung auf 200 kg N/ha (ca. 400 dt/ha) werden im Vergleich zur einmaligen Anwendung zwar noch Mehrerträge um ca. 48 dt/ha gefunden, doch sinkt die Effizienz des eingesetzten Stickstoffs bereits auf 0,24 dt/1 kg N ab. Hierbei beträgt dann die zusätzliche Nährstoffaufnahme aus der Nachlieferung für ca. 16 dt Knollen inkl. Kraut etwas über 6 kg N/ha. Die optimalen Aufwandmengen liegen nach diesen Auswertungen zwischen 150 dt und 300 dt/ha an Stalldung.

Auch mit Stalldung ist es offenbar kaum möglich, eine Überversorgung der Kartoffelkulturen mit dem Nährstoff Stickstoff zu bewirken (Abb. 5). Mit hoher Zufuhr können die N-Gehalte der Knollen nur tendenziell um weniger als 0,05 % in den Knollen angehoben werden. Die Gehalte an Nitrat in den Knollen dürften sich daher kaum verändern (vgl. Kompostwirkung). Die P-Gehalte der Knollen steigen dagegen etwas an, was günstige Wirkungen für die Ausreife und die Lagerfähigkeit der Knollen erwarten lässt.

Die Kalium-Gehalte reagieren auf eine steigende Stalldung-Versorgung deutlich. Sie nehmen nach einer rel. hohen Stalldungzufuhr von ca. 400 dt/ha um durchschnittlich 0,3 % i.d. TM zu. Dies führt bekanntlich zu einer Abnahme der TM-Gehalte und auch zu einer leichten Abnahme der Stärkegehalte i.d. TM der Knollen (Abb. 6). Entsprechend dem physiologischen Wirkungsmechanismus des Kaliums in den Knollen ist dann auch mit einer Zunahme an Ascorbinsäure und anderen organischen Säuren und auf diesem Weg mit einer günstigen Wirkung auf die Verfärbungsneigung der Knollen zu rechnen (siehe KOLBE & HAASE, 1997; KOLBE, 2006a).

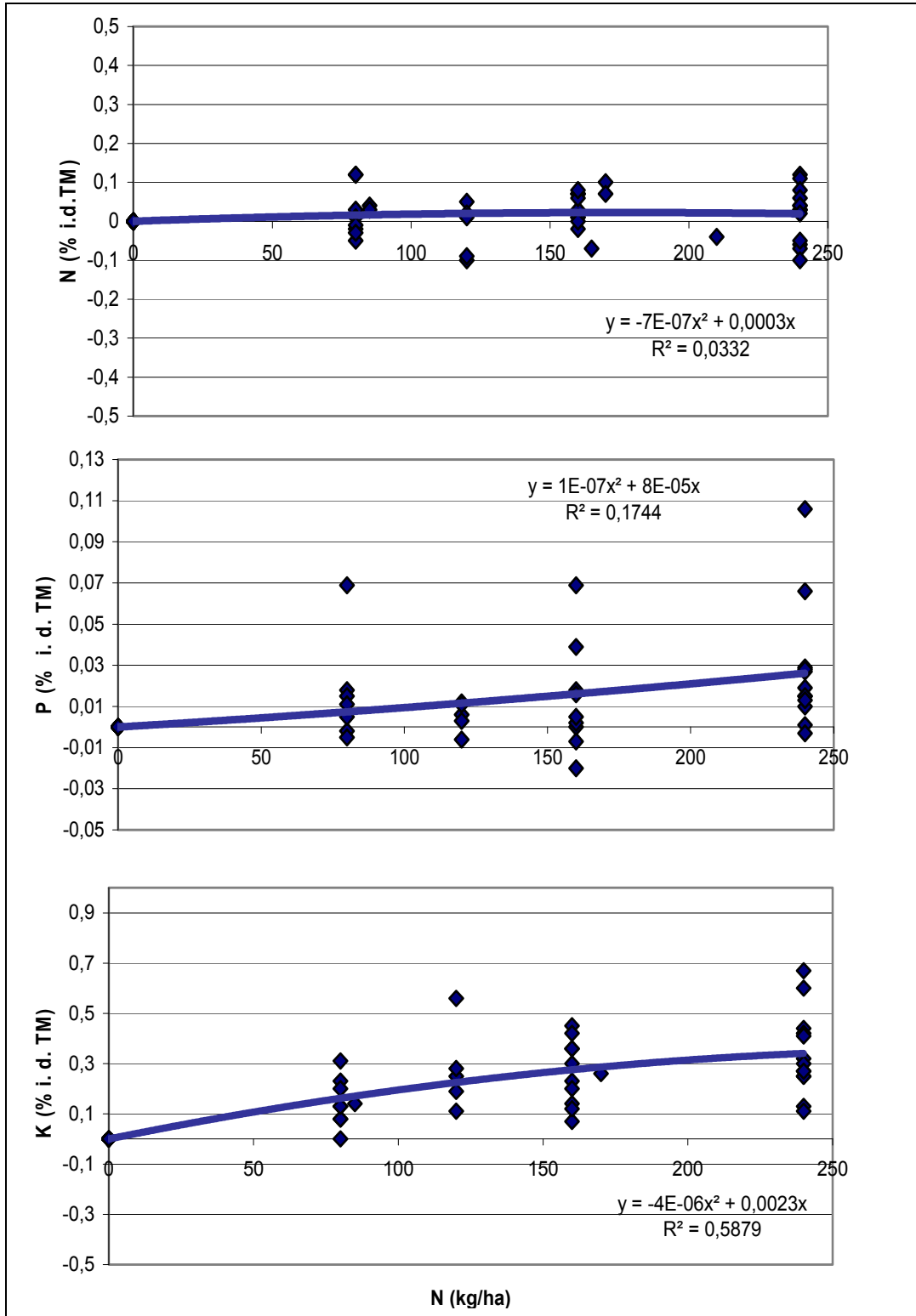


Abbildung 5: Einfluss steigender N-Zufuhr in Form von Stallung auf die N-, P- und K-Gehalte in Kartoffelknollen (Standard: N = 1,38 %, P = 0,29 %, K = 1,73 % i. d. TM)

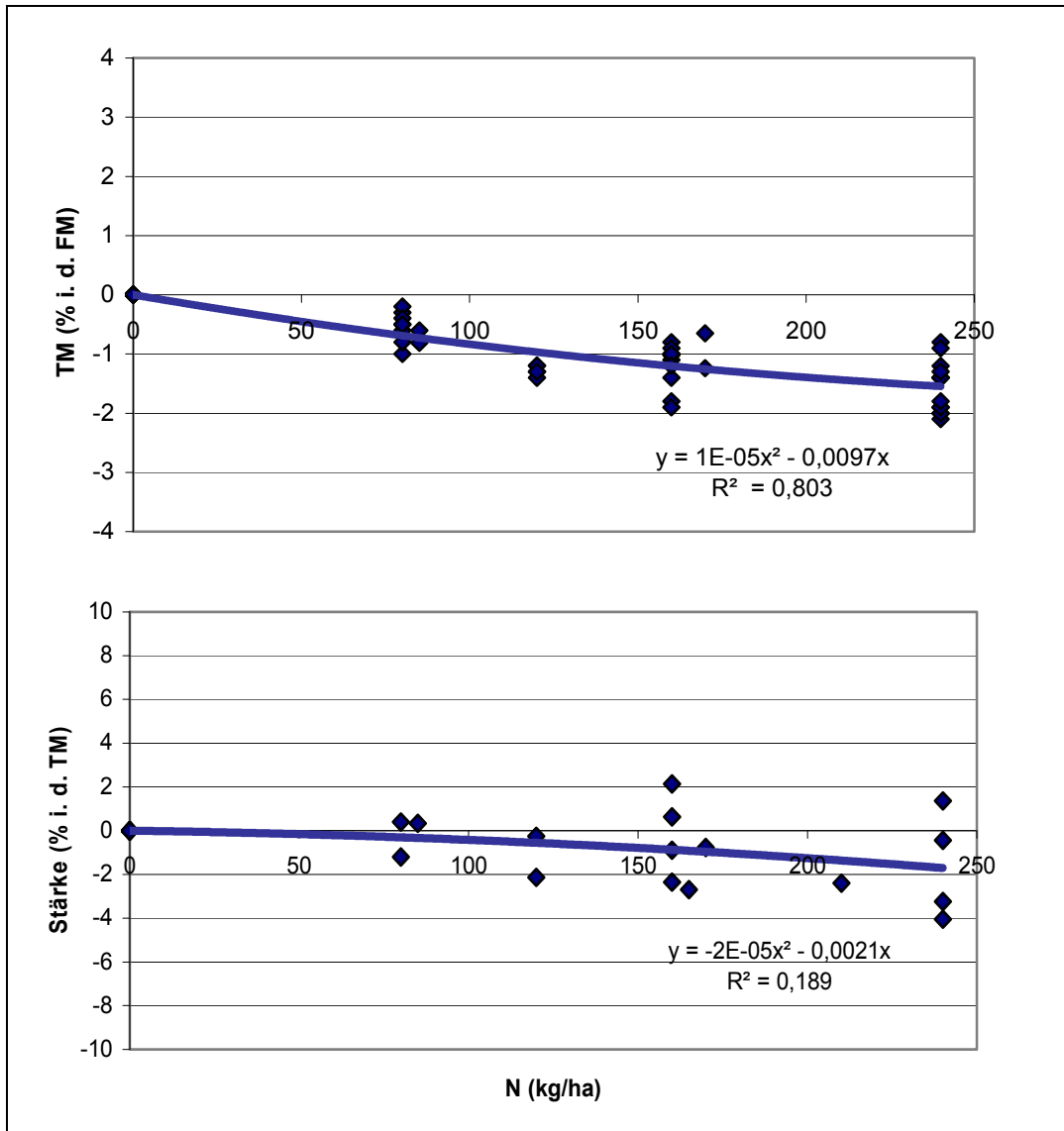


Abbildung 6: Einfluss steigender Stalldunggaben (berechnet auf Basis Gesamt-N) auf die Veränderung der Gehalte an Trockenmasse und Stärke in Kartoffelknollen (Standard: Trockenmasse = 19,5 % i. d. FM, Stärke = 70 % i. d. TM)

3.3 Gülle

Flüssigmiste fallen im Ökolandbau meistens in Form der Rindergülle an. Diese Düngerform ist bekannt durch seine relativ gute direkte Wirkung, die darauf beruht, dass ca. 50 % des Gesamt-N-Gehaltes des Düngers in pflanzenverfügbarer $\text{NH}_4\text{-N}$ -Form vorliegen. Analysen von organischen Düngern aus ökologischer Produktion weisen allerdings darauf hin, dass die $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile z.T. deutlich niedriger liegen als im Vergleich zu konventionellen Quellen (siehe DEVES & HÜNSCHE, 1998), so dass aus diesen Angaben eine geringere Wirkung im Vergleich zu konventionellen Untersuchungen abgeleitet werden könnte. Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen aus Feldversuchen über den Einsatz von Rindergülle zu Kartoffeln kann dies aber nicht bestätigt werden (Abb. 7). Ergebnisse im Knollenertrag aus ökologischem und konventionellem Anbau überschneiden sich sehr deutlich, so dass ein sicheres Ergebnis abgeleitet werden kann, wenn eine gemeinsame Auswertung erfolgt.

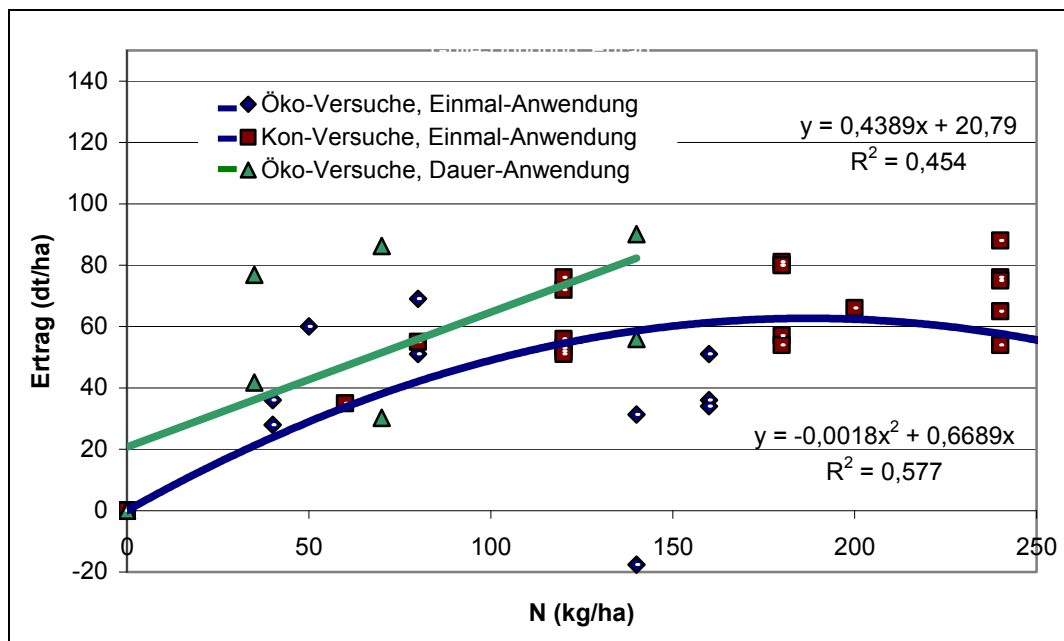


Abbildung 7: Einfluss steigender N-Zufuhr in Form von Gülle nach einmaliger und jährlicher Applikation auf die Knollenerträge bei Kartoffeln (Standard = 260 dt/ha FM)

Nach diesen Ergebnissen ist bei einem direkten Einsatz der Gülle zu Kartoffeln von einer deutlichen Ertragswirkung auszugehen. Nach einer Zufuhr von 100 kg N/ha (= 33 m³ Gülle, 8 % TM) kann ein mittlerer Ertragszuwachs von knapp 50 dt/ha Knollen (0,49 dt/1 kg N) erwartet werden. Dieser Ertragszuwachs liegt fast doppelt so hoch wie bei der kurzfristigen Stallungswirkung und weist auf die ausgeprägte direkte Wirkung der Gülle hin (vgl. Abb. 4 u. 7).

Mit steigendem Gülleinsatz nimmt der Ertragszuwachs allerdings deutlich ab, wie an der Krümmung der Kurve zu erkennen ist. Außerdem nimmt die Streuung der ermittelten Knollenerträge zu, so dass bei einer doppelt so hohen Güllezufuhr mit 62 dt/ha Knollen bereits maximale Ertragswerte erreicht werden, und die Effizienz der eingesetzten N-Zufuhr auf 0,31 dt/1 kg N abfällt. Nach diesen Ergebnissen können optimale Zufuhrmengen an Rindergülle für die Kartoffelproduktion zwischen 15 m³ und höchstens 35 m³/ha veranschlagt werden. In diesem Bereich werden ein deutlicher Ertragszuwachs und hohe Effizienzwerte in der N-Verwertung gewährleistet.

Über die Dauerwirkung von Gülle liegen nur wenige Ergebnisse aus eigenen Versuchen in Sachsen auf einem Sandboden und einem Lößboden vor. Die Humifizierungswirkung der Gülle liegt nach der VDLUFA-Methode bei 9 kg C/m³. Nach Umrechnung auf TM-Basis liegen diese Werte niedriger als die von Kompost oder auch von Stalldung (Gülle ohne Strohanrechnung: ca. 12 – 14 %, Stalldung 14 – 16 %, Kompost 16 – 18 % der TM-Zufuhr). Daher steigen bei einer stetigen Güllewirtschaft die Humusgehalte des Bodens auch nicht so deutlich an, wie es bei der Festmistwirtschaft zu verzeichnen ist.

Diese Zusammenhänge sind bei der Betriebsgestaltung zu beachten, da entsprechende Auswirkungen auf die potenziell möglichen Erträge zu erwarten sind. Aus diesem Grund ist der Ertragszuwachs bei einer dauerhaft angewendeten Güllezufuhr auch nicht so stark ausgeprägt wie es bei den Festmistern dokumentiert werden konnte. Nach den bisher vorliegenden noch sehr ungenauen Ergebnissen kann ein zusätzlicher Vorteil im Knollenertrag von ungefähr 10 dt/ha fixiert werden. Weitere Untersuchungen müssen diese vorläufigen Ergebnisse noch bestätigen (Abb. 7).

Auswertungen von vielen Dauerversuchen haben zudem zutage gefördert, dass offenbar mit steigendem, dauerhaften jährlichen Gülleinsatz die Humifizierungswirkung nicht so deutlich abnimmt oder manchmal sogar noch zunehmen kann. Dieses im Vergleich zu den Festmistern entgegengesetzte Ergebnis kann wie folgt erklärt werden. Während bei steigendem Festmisteinsatz es zu einer direkten lockernden Wirkung auf den Boden kommt, womit dann eine Zunahme der Umsetzungstätigkeiten des Bodens verbunden ist, kann es bei steigendem Gülleinsatz auch zu einer verschlammenden Wirkung auf die Bodensubstanz kommen. Hierdurch kann es zu einer Abnahme der Durchlüftung und der Umsetzungstätigkeit des Bodens kommen. Diese Begründung könnte auch die Ursache dafür sein, dass besonders auf schwereren Böden es nach rel. hoher Güllezufuhr zu ungünstigen Wachstumsbedingungen für die Kartoffeln kommen kann.

Ein steigender Gülleinsatz zeigt auch Auswirkungen auf die Qualität der Knollen an (Abb. 8 u. 9). Offensichtlich wird der N-Gehalt der Knollen unterschiedlich beeinflusst. Es ist eine Streuung zwischen abnehmenden und zunehmenden N-Gehalten zu erkennen. Im Durchschnitt der Versuche ist mit einer deutlicheren Tendenz zu ansteigenden N-Werten in den Knollen zu rechnen. Auf die P-Gehalte der Knollen ist dagegen eine abnehmende Tendenz und auf die K-Werte ein Anstieg der Gehalte zu verzeichnen (Abb. 8).

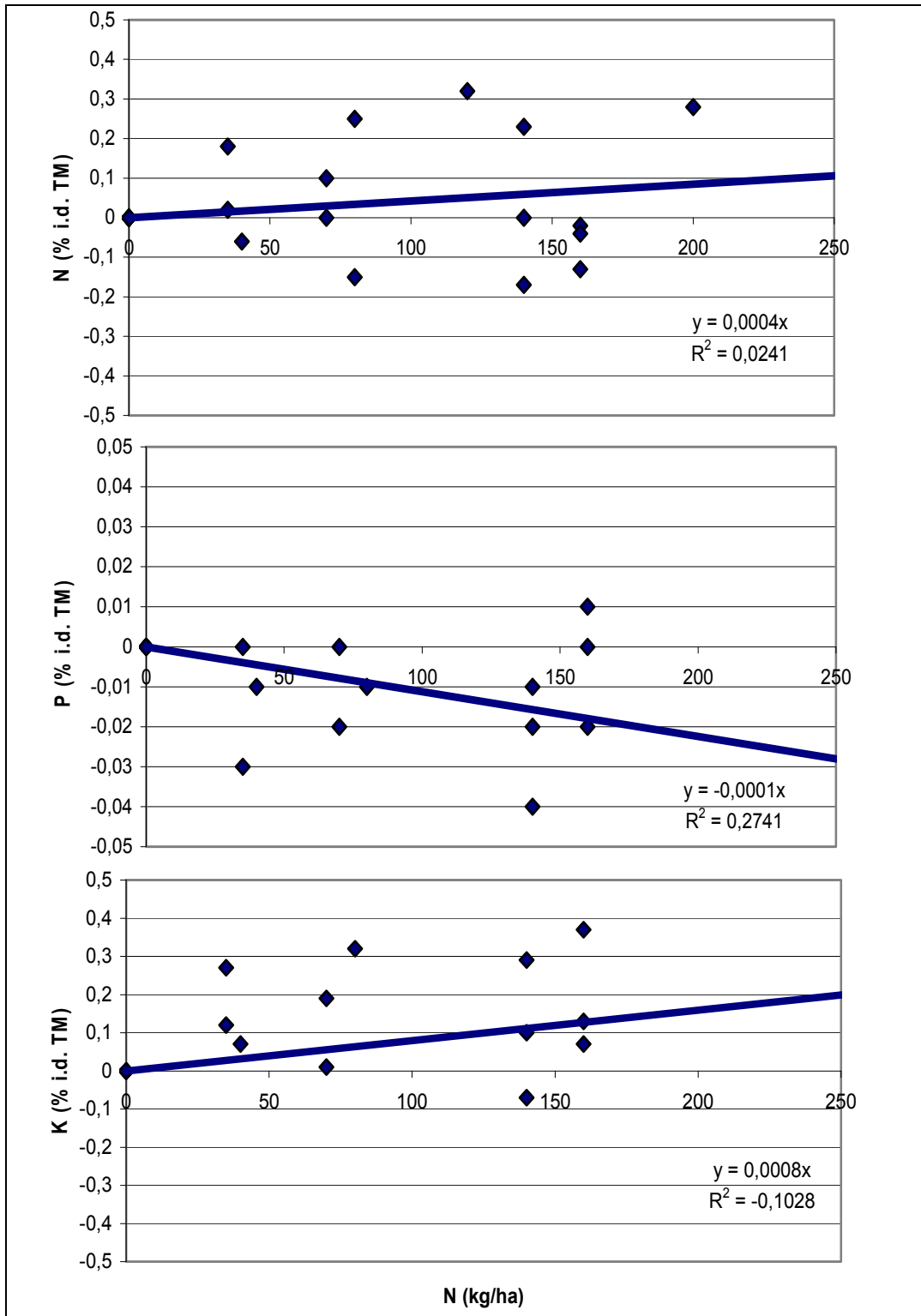


Abbildung 8: Einfluss steigender Güllegaben (berechnet auf Basis Gesamt-N) auf die Veränderung der Gehalte an N, P und K in Kartoffelknollen (Standard: N = 1,34 %, P = 0,22 %, K = 1,98 % i. d. TM)

Da diese Zunahme nicht so stark ausfällt wie bei der Düngung z.B. mit Stalldung, ist auch die Abnahme der Gehalte an Trockenmasse nicht so deutlich ausgeprägt. Auf die Gehalte an Stärke i.d. TM ist dagegen kein gerichteter Einfluss zu erkennen (Abb. 9).

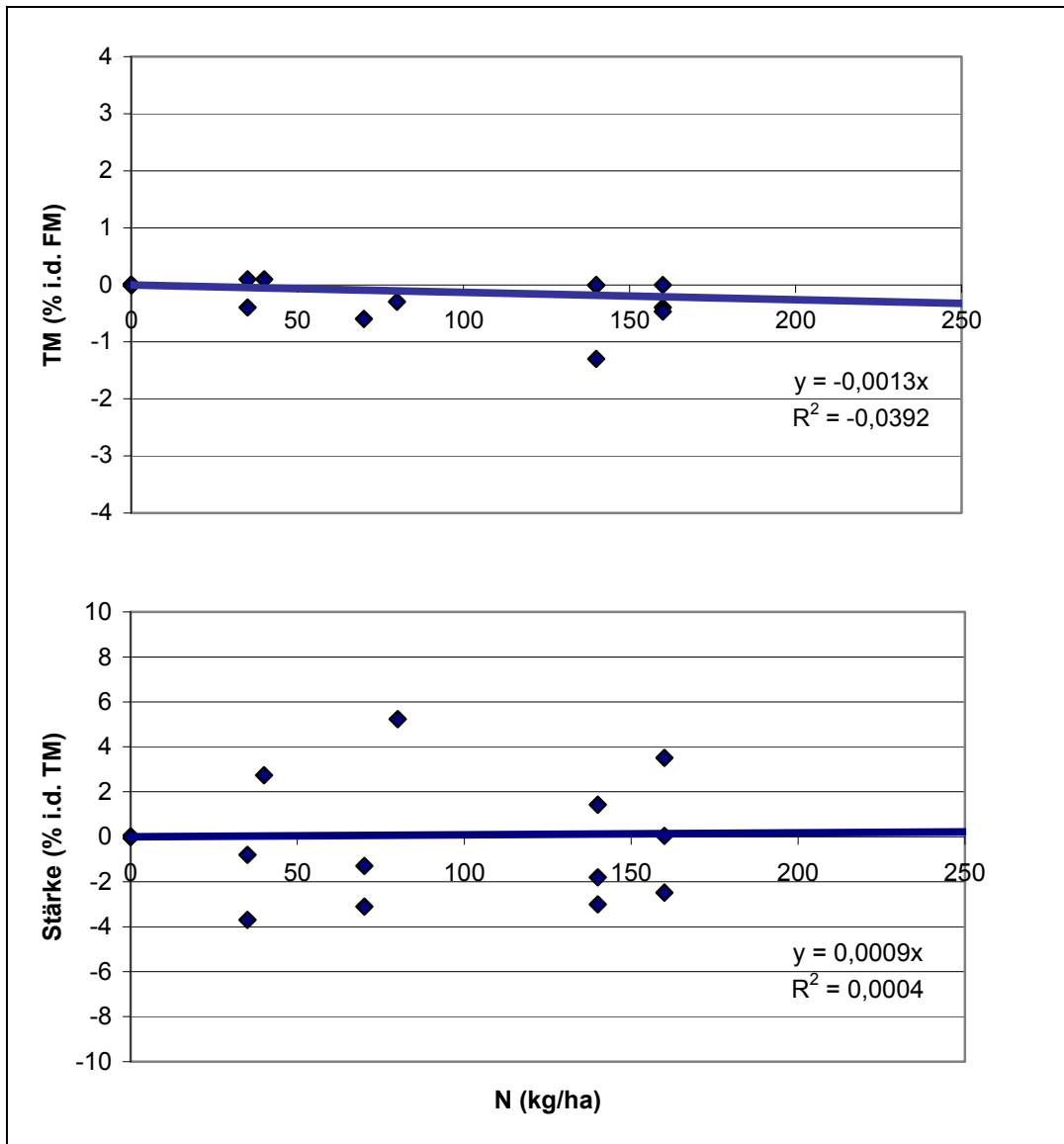


Abbildung 9: Einfluss steigender N-Zufuhr in Form von Gülle auf die Veränderung der Gehalte an Trockenmasse und Stärke in Kartoffelknollen (Standard: Trockenmasse = 21,4 % i. d. FM, Stärke = 70 % i. d. TM)

3.4 Organische Handelsdüngemittel

Im Handel werden eine Reihe von organischen Düngemitteln angeboten, die im Wesentlichen im Gemüsebau verwendet werden, aber auch potentiell interessant für die Kartoffelproduktion erscheinen. Diese Düngemittel gehören zu den tierischen Abfallprodukten (z.B. Hornspäne, Haarmehl-Pellets), sind Düngemittel aus der Tierproduktion (getrockneter Rinder- oder Hühnerkot), sie stammen aus der pflanzlichen Produktion (Raps-Expeller) oder können auf dem Betrieb erzeugt werden, wie z.B. bei Ackerbohnschrot.

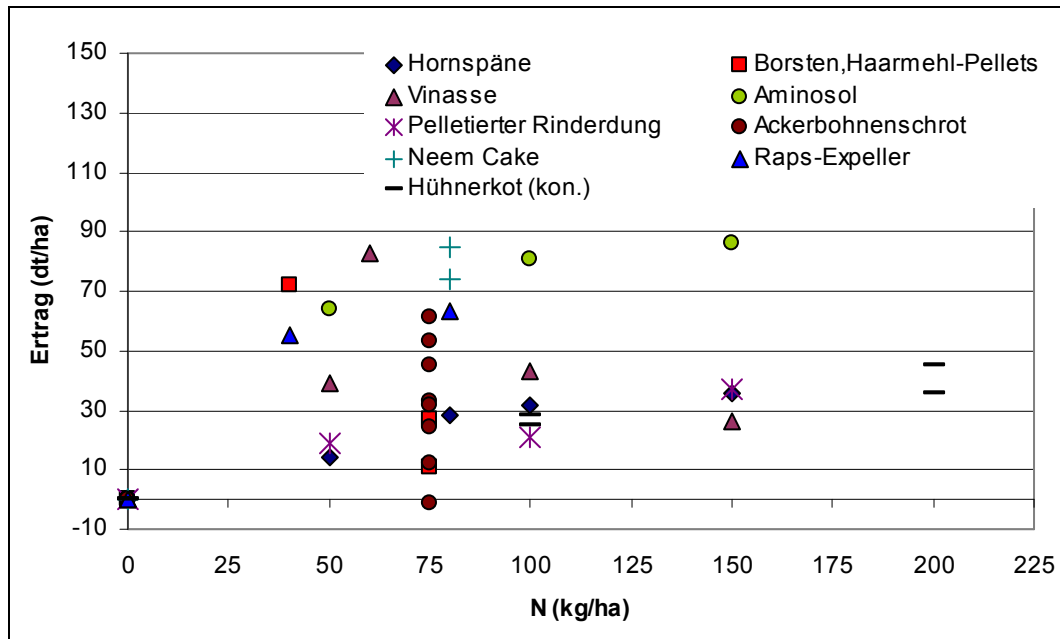


Abbildung 10: Einfluss von organischen Handelsdüngern (Bemessung auf Basis Gesamt-N) auf die Knollenerträge bei Kartoffeln

Bei einem Einsatz von 75 – 100 kg N/ha in Form dieser Handelsprodukte wird ein stark unterschiedlicher Ertragszuwachs zwischen 10 – 85 dt/ha an Knollen erwirtschaftet (Abb. 10). Da pelletierter Rinder- oder Hühnerkot sowie Hornspäne nach diesen zusammengefassten Ergebnissen vieler Autoren einen durchschnittlichen Mehrertrag zwischen 20 – 35 dt/ha erreichen, sind sie in etwa vergleichbar mit den vorgestellten Ergebnissen der Festmiste. Dagegen streuen die Erträge bei Ackerbohnschrot, Haarmehlpellets und Vinasse stark. Mittlere Ertragswirkungen von Ackerbohnschrot können bei 30 – 45 dt/ha, für Vinasse bei 50 – 60 dt/ha und bei Neem-Cake und Aminosol zwischen 70 dt bis über 80 dt/ha angesiedelt werden. Das Ertragspotential dieser Produkte liegt in etwa auf dem Niveau der Rindergülle, oder übersteigt dessen Wirkung sogar deutlich. Optimale Aufwandmengen können zwischen 50 kg N und 100 kg N/ha in Form dieser Produkte angenommen werden.

Wie dieser Vergleich zwischen den Handelsprodukten und den üblichen Düngemitteln zeigt, weisen die Hofdünger je nach Art vergleichbare Wirkungsgrade auf, so dass die Auswahl des Düngers neben der Verfügbarkeit auch nach betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten erfolgen sollte. Zu bedenken ist allerdings, dass die hier vorgestellten Handelsprodukte eine doch etwas andere Wirkung auf die Qualitätseigenschaften der Knollen ausüben. Soweit die bisher sehr knappen Ergebnisse für eine Beurteilung ausreichen, scheinen viele dieser Produkte noch mehr als die hofeigenen Flüssigmiste spezifisch die N-Versorgung und damit auch die N-Gehalte der Knollen zu erhöhen. Sie sind in der Wirksamkeit schon eher mit Jauche oder einer mineralischen N-Düngung zu vergleichen. Daher ist bei höherer Düngung auch mit negativen Auswirkungen auf die Qualität der Knollen (hohe Nitratwerte, geringere Lagerungsfähigkeit) zu rechnen. Auf Grund der rel. hohen K-Gehalte der tierischen Ausscheidungsprodukte und Vinasse scheinen die TM-Gehalte dann eher abzufallen. Dagegen weisen die tierischen Abfallprodukte sehr niedrige K-Werte auf, so dass hierdurch die TM-Werte in Kartoffelknollen eher stabilisiert werden könnten (siehe auch RAUPP & OLTMANN, 2006). Für viele Qualitätsmerkmale liegen z.Zt. noch keine Erkenntnisse vor.

3.5 Abschätzung der N-Mineralisation aus organischen Düngemitteln

Als durchschnittliche N-Gehalte von Kartoffeln aus Ökoanbau können nachfolgende Werte angesetzt werden:

- 0,31 kg N/1 dt Knollenertrag und
- 0,34 kg N/1 dt Kraut (Kraut-/Knollen-Verhältnis = 0,2).

Bei Verrechnung mit entsprechenden Ertragswerten kann die Menge an Stickstoff ermittelt werden, die überschlagsmäßig durch das Düngemittel bereitgestellt wurde, um den Knollenertrag zu erzeugen. Wie aufgezeigt wurde, konnte bei einer durchschnittlichen Stallmistgabe z.B. ein zusätzlicher Knollenertrag von 30 dt/ha erzeugt werden. Hieraus lässt sich dann eine N-Menge von ca. 11 kg berechnen, die im Laufe der Vegetation durch die Mineralisation bereitgestellt wurde und vom Kartoffelbestand aufgenommen worden ist (Knollen + Kraut).

Dieser Wert stimmt recht gut mit Beträgen der N-Freisetzung aus Versuchen zur Nährstoffmineralisation verschiedener Düngemittel überein (Abb. 11). Hiernach werden im Jahr der Anwendung (kurzfristige Wirkung) für Stalldung in etwa Werte zwischen 5 - 15 % der Gesamt-N-Zufuhr ermittelt, was in etwa bei einer optimalen Zufuhr von 100 kg N/ha (200 dt/ha Stalldung) zwischen 5 kg und 15 kg/ha N-Freisetzung entspricht. Wie an diesem Beispiel erläutert wird, kann mit Hilfe der Ergebnisse der Abbildung 11 die relative N-Freisetzung der einzelnen Düngemittel im Anwendungsjahr abgeschätzt und für die Düngungsplanung verwendet werden. Zur Berechnung der Gesamt-N-Mengen, die mit der geplanten Düngung ausgebracht werden soll, werden die N-Gehalte der Düngemittel (siehe Tab. 1) mit den vorgesehenen Düngermengen multipliziert. Danach kann der relative N-Anteil, der im Laufe der Vegetation frei wird, ermittelt werden.

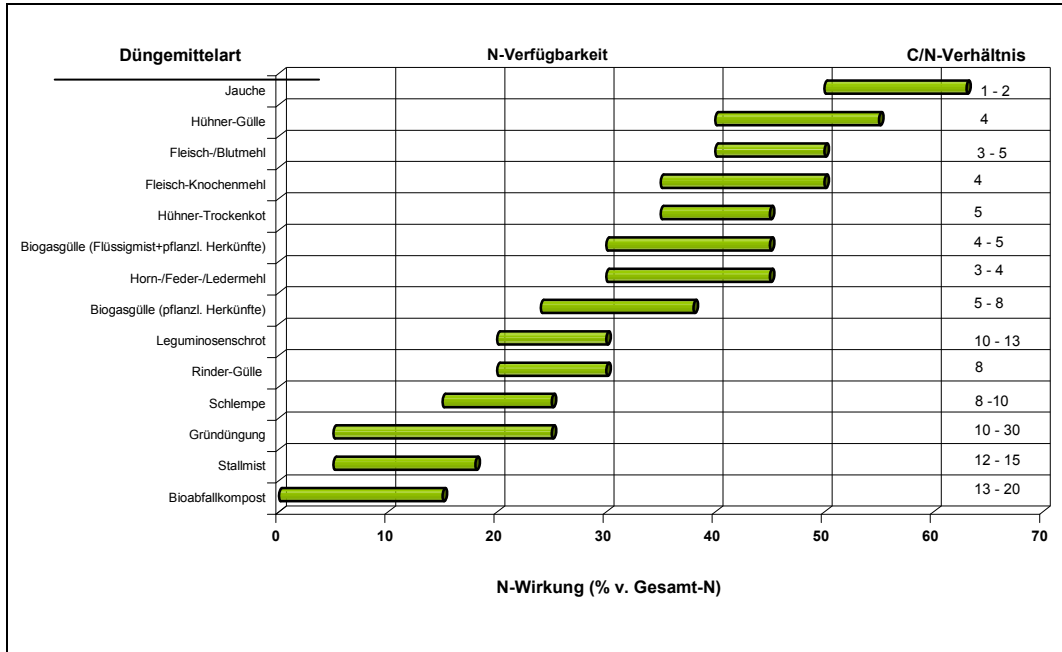


Abbildung 11: N-Verfügbarkeit organischer Düngemittel im Jahr der Anwendung (verändert n. GUTSER et al., 2005: 100 % Mineraldüngungsäquivalente = 60 % v. Gesamt-N)

Tabelle 1: Nährstoffgehalte von ausgewählten Wirtschafts- und Handelsdüngern im ökologischen Landbau (Angaben in kg Reinnährstoffmenge je t, m³ bzw. % Dünger)

Düngerart	TM	N _{gesamt}	P	K	Mg
	(%)	(kg/t)			
Stallmist/ Rind	25	5,00	1,20	6,60	0,80
Stallmist/ Schwein	25	6,10	2,50	5,00	1,20
Stallmist/ Schaf/Ziege	30	8,00	2,20	11,50	1,10
Stallmist/ Geflügel	45	18,00	7,50	11,00	1,40
Stallmist/ Pferd	25	3,60	1,80	4,00	1,10
Geflügeltrockenkot	60	23,20	9,60	14,70	3,80
Strohdüngung	86	4,40	1,30	14,10	1,20
Gründüngung Zwischenfrucht	15	4,30	0,50	4,30	0,40
Gründüngung Leguminosenblatt	15	5,30	0,60	4,30	0,50
Gründüngung Blatt/Kraut	20	3,10	0,50	5,00	1,00
Ernterückstände Gemüse	15	5,00	0,40	3,60	0,30
Stallmistkompost	35	6,80	2,00	7,90	1,70
Bioabfallkompost	60	7,70	1,90	6,20	3,40
Grüngutkompost	60	6,40	1,50	4,40	2,60

Tabelle 1: (Fortsetzung)

Düngerart	TM	N _{gesamt}	P	K	Mg
	(%)	(kg/m ³)			
Jauche/ Rind	2	1,70	0,10	4,60	0,10
Jauche/ Schwein	2	2,30	0,40	3,00	0,10
Gülle dünn/ Rind	4	1,50	0,40	1,60	0,20
Gülle dünn/ Schwein	4	2,30	1,00	1,20	0,20
Gülle normal/ Rind	8	3,00	0,50	3,10	0,40
Gülle normal/ Schwein	8	4,60	1,20	1,60	0,50
Gülle dick/ Rind	12	4,60	1,30	4,60	0,60
Gülle dick/ Schwein	12	7,00	3,00	2,80	0,70
Gülle dick/ Geflügel	12	7,40	4,30	3,40	0,70
Gärrest Gülle/ Rind	5	4,20	0,70	2,90	0,30
Gärrest pflanzliche Substrate	5	3,90	0,50	3,10	0,40
Silagesickersaft	4	1,36	0,30	3,40	0,30
Düngerbezeichnung/ Handelsname	TS	N	P	K	Mg
	(%)	(%)			
Ackerbohnschrot	86	4,20	0,47	1,13	0,16
Erbsenschrot	86	3,50	0,43	1,06	0,13
Lupinenschrot	86	5,40	0,42	0,90	0,16
Rapsschrot	90	5,60	0,90	1,25	0,44
Rizinusschrot	92	5,40	0,90	1,00	--
Vinasse	69	4,00	0,22	6,10	0,17
Maltaflor BIO (Malzkeime)	90	4,00	0,44	4,14	--
Provita Phytoperls (Maisrückstände)	95	6,50	2,20	0,83	0,36
AGRO BIOSOL (Pilzbiomasse)	99	7,00	0,44	0,83	--
Pilzkultursubstrate	39	0,69	0,33	0,92	0,08
Kartoffelfruchtwasser	4	0,30	0,05	0,50	0,02
Hormmehl, -gries, -späne	98	13,00	0,47	0,42	0,26
Haar- und Federmehl	98	13,50	0,40	0,16	0,10
Provita Haarmehl-Pellets	95	14,00	0,44	0,25	--
Knochenmehl	95	5,00	9,00	0,30	0,26
Fleischknochenmehl	95	7,00	6,50	0,30	0,26

Quellen: nach Zusammenstellung von STEIN-BACHINGER et al., (2004), DEWES & HÜNSCHE (1998), nach Vorgaben der Kammern und Landesanstalten u. a. Quellen

Die Düngewirkung kann auch abgeschätzt werden, wenn der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil der Düngemittel bekannt ist. Es wurde eine sehr enge lineare Beziehung zwischen diesem $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteil und der N-Freisetzung im Anwendungsjahr gefunden (Abb. 12). Für die klassischen organischen Düngemittel, wie z.B. Stalldung oder Gülle, kann daher folgende Gleichung zur Abschätzung der N-Freisetzung verwendet werden:

$$\text{N-Freisetzung (\% v. Gesamt-N)} = -0,54 + 0,64 \times \text{NH}_4\text{-N-Anteil v. Gesamt-N} \quad (r^2 = 0,963).$$

Diese Gleichung kann nicht bei pflanzlichen Produkten, wie Leguminosenschrot oder Gründüngung, nicht bei direkten tierischen Abfällen (z.B. Hornmehl) und auch nicht für stark verarbeitete organische Düngemittel (z.B. Hühnertrockenkot) verwendet werden, weil deren $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile kein Kennzeichen für die N-Freisetzung (mehr) darstellt.

Eine sehr gute Abschätzung der Düngewirkung ist auch möglich, wenn das C/N-Verhältnis der Düngemittel bekannt ist. Dieses Merkmal liefert für alle Arten von organischen Materialien brauchbare Werte (Abb. 12). Ab C/N-Verhältnissen von über 20 findet nach diesen Ergebnissen kaum eine N-Freisetzung mehr statt. Es kann sogar zu einer N-Festlegung kommen, wie das ja z.B. von einer Strohdüngung bekannt ist. Bei enger werdenden C/N-Verhältnissen in den Düngemitteln steigt die N-Freisetzung dann überproportional an. Die dargestellte Beziehung ist nicht ganz linear, so dass genauere Werte nur berechnet werden können, wenn eine quadratische Gleichung zur Anwendung kommt. Für praktische Zwecke dürfte allerdings die lineare Gleichung ausreichen (Schwankungsbereich = $\pm 6,5$ kg N/ha):

- **Lineare Gleichung:** $\text{N-Freisetzung (\% v. Gesamt-N)} = 50 - 2,48 \times \text{C/N-Verhältnis}$
($r^2 = 0,712$)
- **Quadr. Gleichung:** $\text{N-Freisetzung (\% v. Gesamt-N)} = 61 - 5,633 \times \text{C/N-Verhältnis}$
 $+ 0,134 \times \text{C/N-Verhältnis}^2$ ($r^2 = 0,814$).

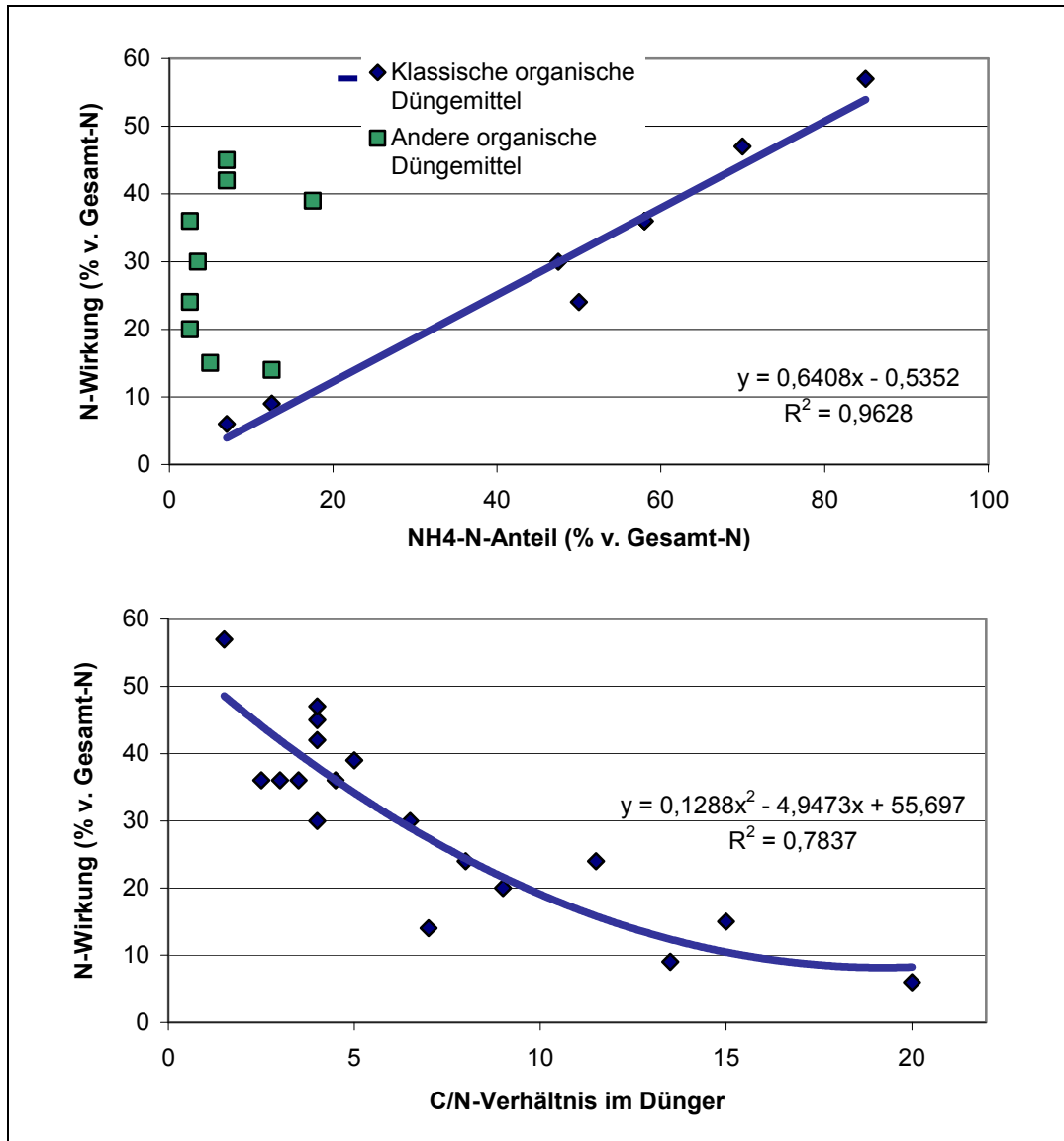


Abbildung 12: Einfluss der $\text{NH}_4\text{-N}$ -Anteile bzw. der C/N-Verhältnisse in den Düngemitteln auf die N-Wirkung im Jahr der Anwendung

4 Zusammenfassung

Ergebnisse über Erträge und Zusammensetzung von Kartoffelknollen aus Feldversuchen zur kurzfristigen und langfristigen Anwendung von organischen Düngemitteln wurden aus vielen Literaturquellen und eigenen Versuchen zusammengestellt und einer gemeinsamen Auswertung unterzogen. Ziel war es, aus diesen Daten erste verlässliche Ergebnisse zur Wirkung dieser Düngungsregime auf die Knollenerträge und die Qualität der Kartoffeln im Anwendungsjahr und nach dauerhafter Anwendung zu ermitteln. Auf diese Weise konnten Anbauhinweise für optimale Aufwandmengen an Fest- und Flüssigmisten sowie von organischen Handelsdüngern ermittelt werden. Zur besseren Einschätzung der N-Freisetzung im Jahr der Anwendung wurden darüber hinaus einfache Kalkulationsverfahren für diese organischen Düngemittel erarbeitet, die für die Düngungsplanung aller Kulturarten im Ökolandbau Anwendung finden können.

Allgemein konnte festgestellt werden, dass mit steigendem Düngereinsatz die Ertragsleistung je eingesetzter Gesamt-N-Menge je nach Düngemittel unterschiedlich stark abnimmt. Es war eine relativ hohe Streuung der Wirkung auf Ertrag und Qualität der Knollen zu verzeichnen, die von unterschiedlichen Effekten des Standortes (Boden, Klima) verursacht wird. Bei dauerhafter Anwendung wurden je nach Düngemittel jeweils höhere durchschnittliche Ertragszuwächse erzielt als nach nur einmaliger Anwendung. Einen zusammenfassenden Überblick über optimale Aufwandmengen sowie das zu erwartende Ertragspotential und die Wirkung auf die Qualität von Kartoffelknollen gibt Tabelle 2.

Tabelle 2: Überblick über optimale Aufwandmengen von organischen Düngern auf die Nährstoffeffizienz sowie die Ertrags- und Qualitätswirkung bei Kartoffeln im Jahr der Anwendung

Düngerart	Anwendung	Optimale Aufwandmenge		Wirkung auf Ertrag und Gehalte an Inhaltsstoffen						
		Dünger-FM (dt/ha bzw. m ³ /ha u. Jahr)	Gesamt-N (kg/ha u. Jahr)	Knollenmehrertrag (dt/ha FM)	N-Effizienz (dt FM/kg N-Gesamt je ha)	Z	ρ	κ	TM	Stärke
Kompost	Kurz	100 – 300	75 – 200	20 – 30	0,20 – 0,17	0	0	+	-	(+)
	Lang	75 – 220	50 – 150	ca. 35 – 75	ca. 0,70 – 0,50					
Stalldung	Kurz	150 – 300	75 – 150	25 – 35	0,28 – 0,22	0	+	++	--	-
	Lang	100 – 300	50 – 150	25 – 50	0,48 – 0,32					
Rindergülle	Kurz	15 – 35	50 – 100	30 – 50	0,58 – 0,50	+	-	+	-	0
	Lang	ca. 15 – 40	ca. 50 – 120	ca. 40 – 60	0,85 – 0,60					
Hühnerkot	Kurz		50 – 100	ca. 25 – 45		(++)		(+)	(-)	
Pell. Rinderdung	Kurz		50 – 100	ca. 20 – 30		(+)		(+)	(-)	
Vinasse	Kurz		50 – 100	ca. 35 – 45		(+)		(+)	(-)	
Raps-Expeller	Kurz		50 – 100	ca. 55 – 65		(+)	?	(-)	(-)?	?
Hornspäne	Kurz		50 – 100	ca. 15 – 35		(++)		(-)	(+)	
Haarmehl-Pellets	Kurz		50 – 100	ca. 30 – 70		(++)		(-)	(+)	

Legende: 0 = keine Wirkung; + = positive, erhöhende, ++ = positive, deutlich erhöhende Wirkung; - = negative, verringernde, -- = negative, deutlich verringernde Wirkung; (), ? = Wirkung noch unklar

5 Literatur

- ABELE, U. (1987): Produktqualität und Düngung – mineralisch, organisch, biologisch – dynamisch. Schriftenreihe des Bundesministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Reihe A: Angewandte Wissenschaft Heft 345, Landwirtschaftsverlag, Münster-Hiltrup
- ASMUS, F., V. HERMANN, H. LANGE & G. SPECHT (1973): Wirkung und Ausnutzung des Stickstoffs aus Gülle. Arch. Acker- Pflanzenbau 17, 927 - 934
- BESSON, J.-M., S. MEYRE & U. NIGGLI (1991): DOK-Versuch: vergleichende Langzeit-Untersuchungen in den drei Anbausystemen Biologisch-dynamisch, Organisch-biologisch und Konventionell. II. Ertrag der Kulturen: Kartoffeln, 1. und 2. Fruchtfolgeperiode. Schweiz. Landw. Forsch. 31, 127 - 155
- BÖHM, H. (2001): Bodenseparierung mit integriertem Zwischenfruchtbau und variierter organischer Düngung im ökologischen Kartoffelbau. In: H.J. REENTS (Hrsg.): Beiträge zur 6. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Verlag Dr. Köster, Berlin, 269 – 272

- BÖHM, H. & Th. DEWES (1997): Auswirkungen gesteigerter Stallmistdüngung auf Ertrag, Qualität und Nachernteverhalten bei ausgewählten Kartoffelsorten. In: U. KÖPKE & J.-A. EISELE (Hrsg.): Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau 4, Verlag Dr. Köster, Berlin, 368 - 374
- BRUNSCH, A. (2002): Entwicklung eines Qualitätsindex für Speisekartoffeln auf der Grundlage inhaltsstofflicher Parameter. Dissertation, Bonn, Verlag Dr. Köster, Berlin.
- DEBRUCK, J. (2000): Ökologischer Landbau. Versuchsanstellungen, Versuchsergebnisse. Lehr- und Versuchsanstalt für Acker- und Pflanzenbau, Bernburg-Strenzfeld
- DEWES, Th. & E. HÜNSCHE (1998): Composition and microbial degradability in the soil of farmyard manure from ecologically-managed farm. *Biological Agric. Hortic.* 16, 251 - 268
- DÜV (2006): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen. Bundesgesetzblatt Jahrgang 2006, Teil I, Nr. 2, 34 - 43
- GUTSER, R., Th. EBERTSEDER, A. WEBER, M. SCHRAML & U. SCHMIDHALTER (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 168, 439 - 446
- KLEIN, J. (1968): Der Einfluß verschiedener Düngungsarten in gestaffelter Dosierung auf Qualität und Haltbarkeit pflanzlicher Produkte. Institut für biologisch-dynamische Forschung, Darmstadt
- KÖRSCHENS, M., ROGASIK, J., SCHULZ, E., BÖNIG, H., EICH, D., ELLERBROCK, R., FRANKO, U., HÜLSBERGEN, K.-J., KÖPPEN, D., KOLBE, H., LEITHOLD, G., MERBACH, I., PESCHKE, H., PRYSTAV, W., REINHOLD, J. & ZIMMER, J. (2004): Humusbilanzierung. Methode zur Beurteilung und Bemessung der Humusversorgung von Ackerland. Standpunkt. VDLUFA, Bonn. http://www.vdlufa.de/vd_00.htm?4
- KOLBE, H. (2006a): Einfluss organischer und mineralischer Düngemittel auf Ertrag und Verfärbungsneigung von Kartoffeln. Poster, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Pflanzliche Erzeugung, Leipzig. <http://orgprints.org/8868>
- KOLBE, H. (2006b): Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Pflanzliche Erzeugung, Leipzig (unveröffentlichte Versuchsergebnisse)
- KOLBE, H. & N.U. HAASE (1997): Einflußfaktoren auf die Inhaltsstoffe der Kartoffel. Die wichtigsten Verfärbungsreaktionen. *Kartoffelbau* 48, 234 - 240
- KOLBE, H., S. MEINEKE & W.-L. ZHANG (1995): Differences in organic and mineral fertilization on potato tuber yield and chemical composition compared to model calculations. *Agribiol. Res.* 48, 63 - 73
- LABER, H. (2000): Düngung im ökologischen Gemüsebau. Informationen für Praxis und Beratung. Broschüre, Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, FB Gartenbau u. Landespflege, Dresden-Pillnitz
- LABER, H. (2002): Kalkulation der N-Düngung im ökologischen Gemüsebau. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft 7, 1 - 77

- LWK (2001): Einsatz von organischen stickstoffhaltigen Zukaufdüngern im ökologischen Kartoffelanbau zur Ertrags- und Qualitätsverbesserung. Versuchsbericht 2001. EU-Projekt Umweltgerechte Landbewirtschaftung. Landwirtschaftskammer, Hannover, 123 – 125
- MATHIES, K. (1991): Qualitätserfassung pflanzlicher Produkte aus unterschiedlichen Düngungs- und Anbauverfahren. Dissertation, Witzenhausen
- MEINEKE, S. (1995): Einfluß mineralischer, organischer sowie organisch-mineralischer Düngung auf Erträge und Gehalte an einigen qualitätsbestimmenden Inhaltsstoffen in Kartoffeln, Möhren, Spinat und Tomaten aus mehrjährigen Feld- und Gefäßversuchen. Dissertation, Göttingen
- MÖLLER, K., H. KOLBE & H. BÖHM (2003): Handbuch Ökologischer Kartoffelbau. Österreichischer Agrarverlag, Leopoldsdorf
- NEUHOFF, D. (2000): Speisekartoffelerzeugung im Organischen Landbau – Einfluß von Sorte und Rottemisdüngung auf Ertragsbildung und Knolleninhaltsstoffe. Dissertation, Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau, Band 15
- PAFFRATH, A. (1999): Ökologischer Land- und Gartenbau in Nordrhein-Westfalen. Versuchsbericht 1999, Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn
- PAFFRATH, A. (2001): Ökologischer Land- und Gartenbau in Nordrhein-Westfalen. Versuchsbericht 2001, Landwirtschaftskammer Rheinland, Bonn
- PAFFRATH, A., E. LEISEN, A. PEINE, Chr. VORLÄNDER, M. BERG & D. NEUHOFF (2003): Kartoffelanbau. In: Leitbetriebe Ökologischer Landbau in Nordrhein-Westfalen. Schriftenreihe des Lehr- und Forschungsschwerpunktes „Umweltverträgliche Standortgerechte Landwirtschaft“ Band 105, Universität, Bonn, 76 - 112
- PAGEL, R. & H. HANF (1997): Einfluß differenzierter Grundbodenbearbeitung und organischer Düngung sowie der Vorkeimung auf Ertragsleistung und Wirtschaftlichkeit im ökologischen Kartoffelbau auf einem Sandstandort. In: U. KÖPKE & J.-A. EISELE: Beiträge zur 4. Wissenschaftstagung zum Ökologischen Landbau. Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau 4, Verlag Dr. Köster, Berlin, 335 – 340
- PETTERSSON, B.D. & M. ENQVIST (1964): Die Auswirkungen der Düngung auf die Qualitätseigenschaften von Kartoffeln. Lebendige Erde Nr. 5, 199 – 219
- RAUPP, J. & M. OLTMANN (2006): Effects of plant based organic fertilizer (faba bean meal) compared to farmyard manure on yield and quality of potatoes and soil organic matter levels. <http://orgprints.org/7596>
- REHBEIN, G. (1982): Untersuchungen zur Humusreproduktion und zum Ertrag in Abhängigkeit von langjähriger differenzierter Gülle- und Mineraldüngung auf einem sandigen Lehmboden. Dissertation, Halle-Wittenberg
- ROSIGKEIT, H. (1973): Wirkung steigender Hühnerkotmengen im Vergleich und in Kombination mit gestaffelten Mineralstickstoffgaben auf Ertrag und einige Bodenmerkmale auf einem Lehmlandstandort. Arch. Acker- Pflanzenbau 17, 967 - 976
- SCHULZ, D. (2000): Ertrag und Qualität von Kartoffeln im Organischen Landbau: Abhängigkeit von Düngerart und Düngermenge. Dissertation, Bonn, Schriftenreihe Institut für Organischen Landbau 14, Verlag Dr. Köster, Berlin

STEIN-BACHINGER, K. (1993): Optimierung der zeitlich und mengenmäßig differenzierten Anwendung von Wirtschaftsdüngern im Rahmen der Fruchtfolge organischer Anbausysteme. Dissertation, Bonn

STEIN-BACHINGER, K., J. BACHINGER & L. SCHMITT (2004): Nährstoffmanagement im Ökologischen Landbau. KTBL-Schrift 423, KTBL, Darmstadt