

Optische Messtechnik zur Bestimmung von
Trockenmassegehalt und Inhaltsstoffen

Was kann NIRS in der Landwirtschaft leisten?



www.biogas-forum-bayern.de/bif28

Biogas Forum Bayern, Verfasser:

Fabian Lichti
Stefan Thurner
Günter Henkelmann

Georg Döring

Christoph Alkofer
Matthias Berndl

Sebastian Zunhammer
Stefan Dercks

Philipp Twickler

Bayerische Landesanstalt
für Landwirtschaft

Firma Claas

Firma Fliegl

Firma Zunhammer

Firma SILOKING



Inhaltsverzeichnis

Seite

1. Erklärende Einführung (F. Lichti, S. Thurner - LfL).....	4
1.1 Überblick landwirtschaftliche Anwendungen mit NIRS-Technologie in der Praxis	4
1.2 Licht ins Dunkel durch Molekülschwingungen	4
2. Möglichkeiten und Grenzen der NIRS-Analytik (F. Lichti, S. Thurner, G. Henkelmann - LfL)	5
2.1 Kalibration	6
2.2 Einfluss der Probenahme auf die Qualität von Laboranalysen	6
3. Möglichkeiten und Techniken der NIRS-Analytik zur Bodenuntersuchung (G. Henkelmann – LfL)	7
3.1 Sensorspaten mit NIRS-Technik (Stenon FarmLab).....	8
3.2 Bodenmessung mit einem NIRS-Handscanner (Agrocares).....	9
4. Herstellerkonzepte für NIRS-Analytik bei Ernte, Transport, Dokumentation und für Gülle und Gärrest (alphabetisch sortiert und ohne Anspruch auf Vollständigkeit)	12
4.1 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Claas (G. Döring).....	12
4.2 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Fliegl (C. Alkofer, M. Berndl).....	14
4.3 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Zunhammer (S. Zunhammer, S. Dercks)...	16
4.4 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik im selbstfahrenden Futtermischwagen bei SILOKING (P. Twickler).....	19
5. Zusammenfassung.....	21
6. Literatur	23

1. Erklärende Einführung (F. Lichti, S. Thurner - LfL)

Die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) ist mittlerweile im landwirtschaftlichen Untersuchungs-wesen etabliert. Wichtige landwirtschaftliche Inhaltsstoffe wie z. B. Trockenmassegehalt, Rohprotein, Rohfaser, Rohfett und Stärke, der Pathogenbefall an Futtermitteln oder Ölbestimmung in Raps können inzwischen mit hoher Güte bestimmt werden. Für viele weitere Parameter wird der NIR-Spektroskopie ein hohes Po-

tential zur schnellen, kostengünstigen und hinreichend präzisen Analytik beigemessen. Inzwischen findet die NIR-Spektroskopie auch zunehmend in der landwirtschaftlichen Praxis Einzug. Die Erwartungen sind insbesondere bei der Bestimmung von Qualitätsmerkmalen in Ernteprodukten und Silagen sowie der Inhaltsstoffbestimmung in flüssigen Wirtschaftsdüngern hoch.

1.1 Überblick landwirtschaftliche Anwendungen mit NIRS-Technologie in der Praxis

- ▶ Trockenmassegehaltsbestimmung von Silomais und Grünfutter (Feldhäcksler)
- ▶ Steuerung der Häcksellänge und Siliermitteldosierung beim Feldhäcksler (v. a. durch Messwerte zum Trockenmassegehalt)
- ▶ Inhaltsstoffbestimmung (Stärke, Protein, Rohfaser, u.v.m.) von Silomais und Grünfutter (Futtermischwagen, Feldhäcksler und NIRS-Messtation am Betrieb)
- ▶ Inhaltsstoffbestimmung und -ableitung von Gülle und Gärrest (TS, NH₄-N, P₂O₅, K₂O)
- ▶ Bodenanalyse mit mobilen NIRS-Geräten

1.2 Licht ins Dunkel durch Molekülschwingungen

Das Spektrum des nahinfraroten Lichts (NIR) erstreckt sich von 800 nm¹ bis 2500 nm im Bereich der Wärmestrahlung. Grundlage der NIR-Spektroskopie ist das Lambert-Beersche Gesetz, das die Abnahme der Strahlungsintensität von Licht durch ein absorbierendes Medium beschreibt. Einfallendes Licht kann von einem Medium (z. B. Maissilage oder Gülle) und seinen einzelnen Inhaltsstoffen adsorbiert, reflektiert oder durchgelassen (transmittiert) werden. Da verschiedene Inhaltsstoffe bei unterschiedlichen Wellenlängen in Schwingung versetzt werden und dabei dem Licht Energie entziehen, kann somit die Inhaltsstoffmengenkonzentration anhand der reflektierten Wellenlängen (Messung der Reflektion, d. h. das Medium wird „von oben“ betrachtet) oder den durchgelasse-

nen Wellenlängen (Messung des durchgelassenen Lichts, d. h. das Medium wird durchleuchtet) bestimmt werden.

NIRS muss „angelernt (kalibriert)“ werden

Da es sich bei der NIR-Spektroskopie jedoch um ein indirektes Messverfahren (Schätzverfahren) handelt, spielt die Kalibrierung der Geräte eine entscheidende Rolle. Für die Kalibrierung wird nach entsprechender statistischer Aufbereitung eine Regressionsgleichung anhand der Kalibrier-

¹Der Nanometer ist eine Längeneinheit. Bezeichnet wird damit die Länge eines Milliardstel Meters. Diese Maßeinheit wird bei der Wellenlänge des Lichts und bei Größenangaben zu Molekülen verwendet.

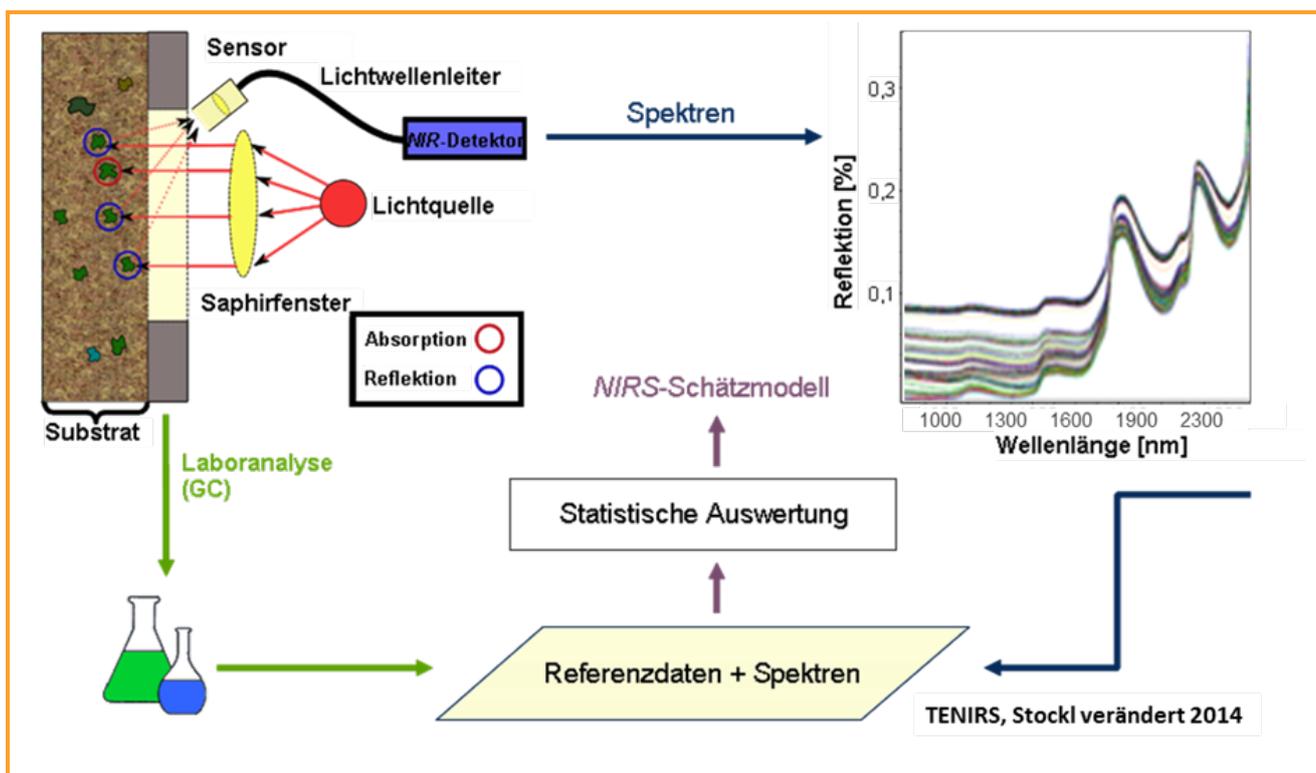


Abb. 1: Verfahrensablauf zur Entwicklung von Kalibrierungen für die NIR-Spektroskopie nach TENIRS verändert nach Stockl (2017); (Andree, 2009)

daten (Spektren aus Vorversuchen) und den dazugehörigen spezifischen Referenzwerten (Referenzwerte aus konventionellen Laboruntersuchungen) erstellt (Schätzmodell). Eine ausreichende Zahl an repräsentativen Daten mit homogener Verteilung, die den Datenraum möglichst gleichmäßig abdecken, ist dabei zwingend erforderlich. Aufgrund der komplexen Zu-

sammensetzung landwirtschaftlicher Substrate bzw. flüssiger Wirtschaftsdünger gilt der Kalibrierung ein besonderes Augenmerk. D. h. wiederum, dass es zunächst tausende von Messungen braucht, mittels derer das System herstellerseitig „angelern“ wird. Die Güte und Breite dieser Messungen entscheidet wiederum über die Praxistauglichkeit.

2. Möglichkeiten und Grenzen der NIRS-Analytik

Spektroskopische Schnellverfahren, insbesondere NIRS, haben in den letzten Jahren in vielen Bereichen der Laboranalytik Einzug gehalten. Diese können bei ausreichender Genauigkeit auch in fast allen Bereichen der produzierenden Landwirtschaft zur qualitativen und quantitativen Beurteilung von Ernte- und Futtermittelproben und der Analyse von Feststoffen, Flüssigkeiten und Gasen eingesetzt werden. In der Analytik von Inhaltsstoffen und der Qualitätssiche-

rung im Labor sind daher spektroskopische Verfahren ein unerlässlicher Teil der Agrar-Untersuchungen geworden.

Einfach und schnell analysieren

Ein enormer Vorteil der NIR-Spektroskopie gegenüber anderen analytischen Verfahren ist die deutlich vereinfachte Messpraxis, da eine Probenbehandlung mittels dieses Verfahrens nicht zwingend notwendig ist. Zudem lassen

sich Mehrfachmessungen in hoher zeitlicher Auflösung einfach darstellen, sodass gerade bei sehr heterogenen Medien, wie z. B. flüssigem Wirtschaftsdünger, vielfach wiederholte Messungen schnell und berührungslos vorgenommen werden können. Die Notwendigkeit einer stetigen Modelladaptation bei Substrat- bzw. Materialwechsel sollten jedoch nicht außer Acht gelassen werden. Ansonsten können hohe Schätzungenauigkeiten die Folge sein. Die NIR-Analytik darf daher nicht als „Rundum-sorglos-

Paket“ gesehen werden, sondern erfordert ein gewisses Maß an Kenntnis und Aufmerksamkeit seitens des Anwenders. Die Modelladaptation für z. B. den Jahrgangseffekt [7] leisten i. d. R. die Hersteller der Technik. Der Anwender muss dieses Update je nach Gerät/Anwendung jedoch selbst installieren oder installieren lassen. Ein Wartungsvertrag mit dem Hersteller, der ein regelmäßiges Update der Kalibration beinhaltet sorgt hier für gleichbleibend gute Ergebnisse und ist daher zu empfehlen.

2.1 Kalibration

Ein großer Vorteil liegt in der simultanen Bestimmung mehrerer Parameter und einer zerstörungsfreien Messung [2]. Dabei hat die NIR-Spektroskopie in modernen Geräten einen hohen Probendurchsatz und kann evtl. sogar vor Ort online zu minutenschneller Routineanalytik verwendet werden. Dadurch bieten sich solche spektroskopischen Verfahren als ein universelles Werkzeug zur Beurteilung von vielen analytischen Problemfällen an, die in der Landwirtschaft nur unzureichend, zu langsam oder zu teuer untersucht werden können. Grenzen liegen vor allem darin, dass für jede zu

untersuchende Matrix z. B. Gras, Mais, Gülle..., eine eigene Kalibration erzeugt werden muss. In dieser Kalibration stecken hunderte, wenn nicht tausende von Laborwerten, die sehr sorgfältig bestimmt werden müssen. Proben, die außerhalb einer Kalibration liegen, können nicht gemessen werden. Kalibrationen müssen immer wieder aktualisiert werden (jährliches Update) und die Kalibration muss geprüft werden. Will man Pflanzen auf einer Erntemaschine messen, so sollte das Erntegut immer möglichst gleich geschnitten werden. Sehr inhomogene Pflanzenbestände verfälschen das Gesamtergebnis.

2.2 Einfluss der Probenahme auf die Qualität von Laboranalysen

Da die Qualität der Untersuchungsergebnisse nicht nur von der eigentlichen Laboranalyse bestimmt wird, sondern auch das Resultat aller vorhergehenden Verfahrensschritte ist, wirken sich die einzelnen Vorstufen der Analyse auf die Gesamtqualität von Analyseergebnissen aus. Die Qualität lässt sich daher nicht an den absoluten Werten und den angegebenen Nachkommastellen im Labor bemessen, sondern an der Repräsentativität der Probe sowie der Genauigkeit, mit der die Proben vorher gezogen und verarbeitet wurden. Dies macht Abbildung 2 deutlich.

Der Hauptanteil der Analysefehler entsteht schon während der Probenahme. Bei der anschließenden Probenvorbereitung, Trocknung, Vermahlung und Homogenisierung der Proben sind Fehler von bis zu 10 % nicht auszuschließen. Nur ein geringer Teil (bis +/-1 %) ergibt sich während der eigentlichen Messung im Labor.

Für eine Online-Anwendung von NIRS ergibt sich somit, dass der Fehler der Messung mangels eines Probenahmefehlers geringer sein sollte als der Fehler mit Probenahme. Die DLG ging daher bei der Beurteilung von NIRS-Feldmessungen in Güllefässern von einem Fehler von etwa 25 - 35 % aus (siehe gestrichelte,

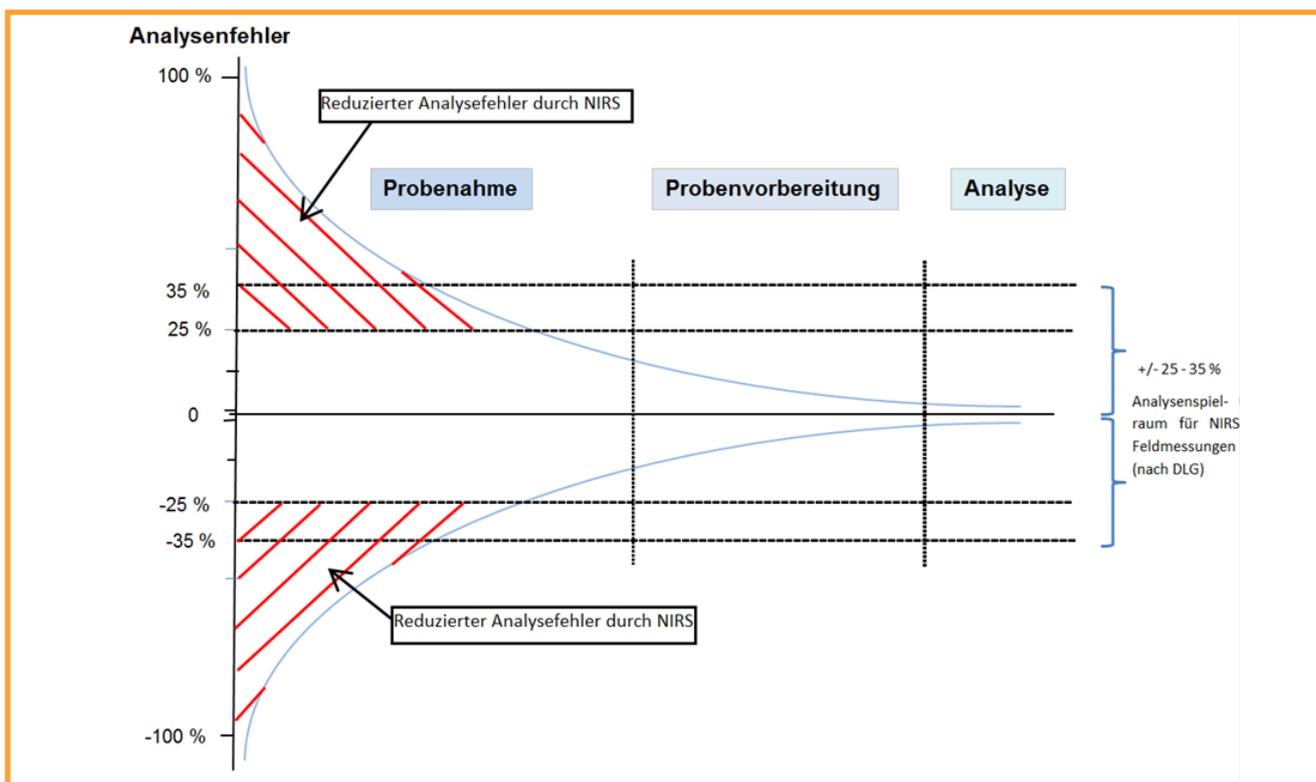


Abb. 2: Modellhafter, stark vereinfachter Zusammenhang zwischen Analysefehler und Verfahrensschritten bei der NIR-Wirtschaftsdüngeranalytik

waagrechte Linien bei 25 bzw. 35 %). Dieser Fehler ist deutlich höher als ein Messfehler im Labor, doch in Anbetracht der kontinuierlichen Messung auf der Maschine und durch den Wegfall des einzelnen Probenahmefehlers wiederum gering.

Für die Kalibration von NIRS-Systemen und die Referenzanalytik spielt der Probenahmefehler wieder eine wichtige Rolle. Daher sollte für die Kalibrierproben größte Sorgfalt auf die Proben-

nahme gelegt werden. Es ist darauf zu achten, dass die Proben aus dem Erntegut, aus dem Gülle- und Substratlager, Fermenter, Nachgärer oder Endlager möglichst repräsentativ das vollständige zu beprobende Material widerspiegeln.

Weitere Informationen zur Probenahme unter: http://www.biogas-forum-bayern.de/De/Fachinformationen/Aktuelles/nachhaltig-erneuerbar-energie_Probenahme.html.

3. Möglichkeiten und Techniken der NIRS-Analytik zur Bodenuntersuchung (G. Henkelmann – LfL)

In den letzten Jahrzehnten wurde durch Fortschritte in der Düngung, die Entwicklung von Agrartechnik und durch die Sortenentwicklung gravierende Fortschritte in der landwirtschaftlichen Erzeugung hervorgebracht.

Nun steht eine neue Zeitenwende durch innovative „Digitale Assistenten“ bei Aussaat, Bewässerung, Düngung und Ernte, sowie auch durch neuartige mobile Analysensysteme an. Mit Hilfe von Sensoren und „Künstlicher Intelligenz“, werden künftig Maschinen oder selbstständig agierende Roboter in Echtzeit Boden-

und Pflanzenanalysen durchführen um durch diese digitale Messwerte eine flächenspezifische Bewirtschaftung zu unterstützen. In einem ersten Schritt kamen in den letzten Jahren einige zukunftsweisende, neue Geräte auf den Markt um die Messung von z. B. Bodenproben mit Hilfe der NIRS Analytik zu ermöglichen. Solche mobilen „Bodenlabore“ sollen es Landwirt*innen gestatten, ohne eine vorherige, aufwändige Laboranalytik durch einen Agrardienstleister, einigermaßen genaue Schätzungen der wichtigsten Bodenparameter vor Ort selbst vorzunehmen.

Das Wort Schätzung wird an dieser Stelle ausdrücklich verwendet, denn es handelt sich bei allen Messungen vor Ort, die z. B. mit NIRS-Sensoren arbeiten nicht um echte Messwerte,

sondern um den Vergleich einer unbekannt Probe mit konventionell, im Labor gemessenen, Laborergebnissen aus einer Datenbank (Kalibration). Der Wert der Datenbank, der dem Spektrum der unbekannt Probe am nächsten kommt, wird dann als sog. Schätzwert angezeigt. Dabei bedeutet Schätzung nicht immer ein schlechtes Ergebnis. Je nach Anzahl und Qualität der zugrundeliegenden Laboranalysen können diese „Schätzwerte“ auch der konventionellen, „echten“ Laboranalytik sehr nahe kommen. Von allen Neuerungen mit großem Potential sind vor allem der Sensor-Spaten FarmLab der Firma Stenon GmbH und der Hand-Sensor der Fa. Agrocates und ein komplettes Labor zur Bodenanalytik mit dem Namen Lab-in-a-Box (LiaB) der gleichen Firma zu erwähnen.

3.1 Sensorspaten mit NIRS-Technik (Stenon FarmLab)

Die Firma Stenon wurde im April 2018 in Potsdam von Niels Grabbert und Dominic Roth gegründet. Der Sensorspaten FarmLab bekam den Brandenburger Innovationspreis 2020 und den Förderpreis der Agrarwirtschaft 2020, verliehen durch die „agrarzeitung“.

Das spatenähnliche Analysegerät wird mit dem Fuß 16 cm tief in den Boden gedrückt. Auf dem Sensorkopf befinden sich mehrere Messsonden und zwei optische Sensoren. Am oberen Stiel befindet sich ein 3,5 Zoll Touchscreen angebracht, auf dem die Einstellungen vorgenommen werden und das den Benutzer durch den Messprozess führt. Nach jedem Einstich und dem Messstart erfolgt die digitale Bodenanalyse über eine Mobilfunkverbindung in der Cloud. Somit kann mit Hilfe einer WebApp die Auswertung und Interpretation der Rohdaten über externe Algorithmen analysiert, bewertet und angezeigt werden. Die Messergebnisse können auch exportiert werden. Ohne Internetverbindung besteht eine Speicherkapazität von bis zu 1.000 Messungen, die dann im Onlinebetrieb verarbeitet werden können.



Bild 1: Sensorspaten Farmlab der Stenon GmbH

Physikalische Parameter

- ▶ pH-Wert
- ▶ Corg
- ▶ Boden-Temperatur
- ▶ Boden-Feuchtigkeit
- ▶ Humus
- ▶ C/N Verhältnis
- ▶ Textur
- ▶ Luftfeuchtigkeit, -druck und -temperatur
- ▶ Licht- und Strahlungsparameter

Chemische Parameter

- ▶ Nmin (Nitrat + Ammonium)
- ▶ Nitrat
- ▶ Ntotal
- ▶ Phosphor (P / P₂O₅)
- ▶ Kalium (K / K₂O)
- ▶ Magnesium

Um eine vernünftige Analyse über ein Feldstück zu erhalten, muss man mit dem Spaten, entsprechend den üblichen Vorgaben der Bodenprobenahme, in einer Zickzack-Linie oder einer anderen randomisierten Form, die landwirtschaftliche Fläche abschreiten und alle paar Meter die mobile Bodenanalyse durchführen. Dabei ist immer nur eine Messung bis zu einer Bodentiefe von 30 cm möglich. Die Daten der Sensoren werden zusammen mit den GPS-Daten im Gerät gespeichert und bei einer bestehenden Onlineverbindung über ein Handy oder Tablet berechnet. In der WebApp hat man die Mög-

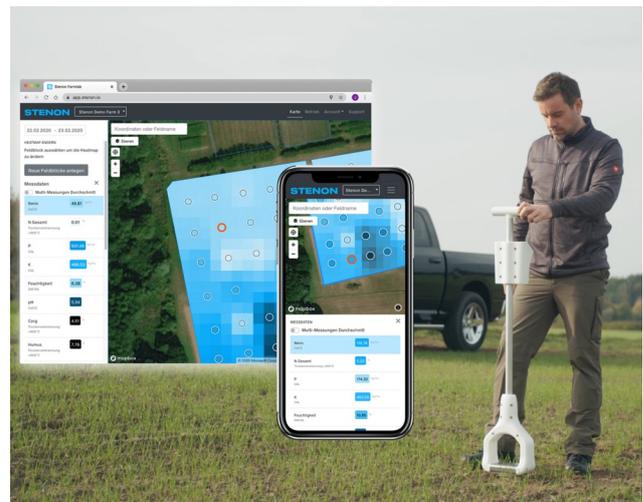


Bild 2: Display und Anzeige der berechneten Daten (Quelle: Firma Stenon)

lichkeit sich anhand der erhobenen Daten eine Düngeempfehlung errechnen zu lassen und damit eine Applikationskarte zur teilflächenspezifischen Düngung zu erstellen. Diese kann sogar mit bekannten Düngerparametern für mineralisch, flüssige und flüssig-organische Dünger hinterlegt werden. Damit hat man die Möglichkeit, dem Ziel einer flächenspezifischen Düngung näher zu kommen. Zu den Kosten gibt es verschiedene Modelle, die den Spaten die Auswertungen, die WebApp und alle anderen Kosten für einen bestimmten Zeitraum (z. B. ab einem Jahr) beinhalten.

3.2 Bodenmessung mit einem NIRS- Handscanner (Agrocares)

Die Firma Agrocares hat als erste Firma einen Bodensensor im Jahr 2013 kommerziell verfügbar gemacht, nachdem zahlreiche Tests durchgeführt wurden. Die Firma zählt zu den ersten, die sich mit Nahinfrarot-Technologien im Bereich der Düngung auseinandergesetzt hat und greift auf eine große Datenbank mit Referenz-

daten zu, die weltweit viele Regionen abdeckt. Zudem ist die Genauigkeit der Ergebnisse hoch, da die Datenerhebung in einer Mischprobe nach Protokoll und einer Nullmessung erfolgt. Die Firma Agrocares bietet sowohl einen Handscanner, sowie das System Lab-in-a-Box an.

Handscanner mit NIRS-Technik (Agrocares)

Der Handscanner kann für Mischproben oder auch individuelle Zonen im Feld benutzt werden. Daher werden vor dem Sensoreinsatz ca. 10 - 20 Einzelproben mit einer üblichen Beprobung vorgeschaltet, die Einzelproben in einem

Eimer gut vermengt und dann der Sensor aufgesetzt. Damit ist sichergestellt, dass der gemessene Wert auch den sonst üblichen Probenahmenvorgaben entspricht. Dies hat den Vorteil, dass die Bodenprobe weitgehend homogen ist

und es keine Beschränkung auf eine bestimmte Bodentiefe gibt. Der Scanner ist empfohlen für Analysen von 0 - 30 cm Bodentiefe. Diese Mess-tiefe basiert auf den Proben in der Datenbank, welche nach diesem Prinzip genommen wurden.

Der Agrocares-Handscanner ist ein Nahinfrarot-Spektrometer mit einer Wellenlänge von 1300 nm bis 2550 nm. In diesem Bereich sind die ersten Oberschwingungen und Kombinati-onsschwingungen von CH-Verbindungen, Was-ser (OH) und NH-Verbindungen zu finden. Zu-sätzlich hat er Sensoren für die Messung der elektrischen Leitfähigkeit und der Temperatur des Bodens.

Nach dem Scanvorgang einer Nullreferenz und dann der Bodenprobe werden die Ergebnisse in eine Cloudanwendung geschickt. Nach der Be-rechnung erfolgt die Übertragung der Nährstoff-empfehlungen auf ein mit dem Scanner verbun-denes Smartphone oder Tablet. Das Display des Mobilgerätes zeigt diese Daten dann wie bei einer Ampel an. So wird z. B. der N-Gehalt im Boden als über-, normal-, oder unterversorgt angezeigt. Die genauen Messwerte können auch über eine Website heruntergeladen wer-den.

Die Grundvoraussetzung für den Einsatz des Handscanners ist wie immer in NIRS Anwen-dungen eine Kalibration d. h. der Vergleich der Spektren mit „echten“ Laborwerten. Bei dem Scanner der Fa. Agrocares wird eine relativ um-fangreiche Kalibration vorgehalten. Die Daten-

MIRS- und RFA-Technik (Lab-in-a-Box)

Die Zusammenstellung Lab-in-a-Box (LiaB) bein-haltet alle Gerätschaften die es ermöglicht eine vollständige Laboranalytik innerhalb etwa zwei Stunden durchzuführen. An Geräten sind in die-sem Paket enthalten: Bodemmühle, Probetrock-ner, Probenteiler, Mörser, Siebe zur Bodenpro-benvorbereitung.

Weiterhin befindet sich in dieser Zusammen-



Bild 3: Handsensor der Firma Agrocares

bank beinhaltet mittlerweile über 18.000 Bo-denproben und hat ein kontinuierliches Wachs-tum, mittlerweile sind viele europäische Länder beinhaltet.

Die Parameter sind:

- ▶ pH-Wert
- ▶ Feuchte in %
- ▶ Bodentemperatur (°C)
- ▶ Kationenaustauschkapazität (CEC in mmol+/kg)
- ▶ Stickstoff (Gesamt N in g/kg)
- ▶ Phosphor (Gesamt P in g/kg)
- ▶ Kalium (K verfügbar in mmol+/kg)
- ▶ Lehm (%)
- ▶ Organischer Kohlenstoff (g/kg)
- ▶ Organisches Material (%)

stellung ein Laptop, ein Mittel-Infra-Rot-Messgerät (MIR) und ein Röntgen-Fluoreszenz-Analysator (RFA).

Zunächst wird in einem ersten Schritt die Pro-benahme auf konventionelle Art und Weise durchgeführt. Darauf erfolgt mit den Geräten der Probenvorbereitung die Trocknung, Zerklei-nerung und Siebung der Bodenproben. Mit Hilfe

der der Nahinfrarottechnik werden Molekülschwingungen erfasst und als Ergebnis die Makronährstoffe bestimmt. Mit der RFA können Elemente, Schwermetalle und Spurenelemente und einige Nichtmetalle bestimmt werden. Dazu werden die Rohdaten über eine Onlineverbindung mit der „AgroCares Global Soil Database“ verglichen um die Rohdaten in Messdaten umzurechnen. Innerhalb weniger Minuten werden die Ergebnisse aus den Messgeräten zurück übermittelt. Für die Messungen der Parameter sind keine Chemikalien erforderlich und daher ist die Bedienung der Lab-in-a-Box Zusammenstellung keine fachliche Ausbildung erforderlich, doch ist es von Vorteil einige Vorkenntnisse zur Probenvorbereitung und der Messung von Bodenparametern zu haben.

Mit der Lab-in-a-Box können bis zu fünfzig verschiedene Parameter untersucht werden, z.B. :

Physikalische Parameter:

- ▶ pH-Wert,
- ▶ Leitfähigkeit (dS/m),
- ▶ die organische Masse (%),
- ▶ Ton (%), Schluff (%), Sand (%),
- ▶ Kationenaustauschkapazität (CEC in mmol+/kg)

Elemente:

- ▶ Stickstoff (Gesamt N in g/kg)
- ▶ Phosphor (Gesamt P in g/kg)
- ▶ Kalium (K verfügbar in mmol+/kg)

- ▶ Schwefel (Gesamt S in g/kg)
- ▶ Calcium (Ca verfügbar in mmol+/kg)
- ▶ Magnesium (Mg verfügbar in mmol+/kg)
- ▶ Aluminium (%)
- ▶ Bor (B verfügbar in mmol-/kg)
- ▶ Kalk (CaCO_3 in g/kg)
- ▶ Zink (Zn gesamt in g/kg)
- ▶ Kupfer (Cu in Gesamt in mg/kg)
- ▶ Eisen (Fe in mg/kg)
- ▶ Magnesium (Mg in g/kg)
- ▶ Mangan (Mn in mg/kg)
- ▶ Molybdän (Mo in mg/kg)
- ▶ Natrium (Na verfügbar in mmol+/kg)
- ▶ Phosphor (P in mg/kg)
- ▶ Zink (Zn in mg/kg)

Der Landwirt erhält nach der Messung einen vollständigen Bericht zur Bodenanalyse zu Makro- und Mikronährstoffen, sowie beim Einsatz der Röntgenfluoreszenzanalyse auch die Schwermetalle und Elemente der Probe. Aus diesen Daten gibt es von der Fa. Agrocares eine angepasste Düngeempfehlungen für die Steigerung des Ertrags. Meist wird diese zusammen mit dem Landwirt entwickelt und auf seine Bedürfnisse angepasst. Die Messgeräte dieser Lab-in-a-Box Zusammenstellung sind jedoch durchaus anspruchsvolle Messtechnik, die auch beherrscht sein will. Zudem muss der Anwender bei solchen hochempfindlichen Messgeräten auch berücksichtigen, dass die Messgeräte einer ständigen Wartung und Überprüfung bedürfen.



Bild 4: Lab in a Box der Firma AgroCares

Beim nachfolgenden Kapitel 4 handelt es sich um Firmenaussagen.

4. Herstellerkonzepte für NIRS-Analytik bei Ernte, Transport, Dokumentation und für Gülle und Gärrest (alphabetisch sortiert und ohne Anspruch auf Vollständigkeit)

4.1 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Claas (G. Döring)

Der Feldhäcksler verfügt aufgrund des Gutstromes in der Maschine über zwei Funktionen um Erntegut erfassen zu können.

Primäre Funktion ist die Ertragsmessung (Quantimeter) auf dem Feldhäcksler. Hier wird grundsätzlich der Volumenstrom in der Maschine erfasst. Über den Ausschlag der Vorpresswalzen im Einzugskanal des Häckslers und das Verrechnen der Einzugsgeschwindigkeiten kann das aufgenommene Volumen in der Maschine errechnet werden. Diese erfordert ein regelmäßiges Kalibrieren des Systems. D. h. Kontrollwiegungen über die Waage sind notwendig, um speziell bei Sorten- oder Reifegradwechsel einen Abgleich zum Feldhäcksler zu schaffen. Ändert sich sortenbedingt das Verhältnis von Kolben zu Restpflanze muss dies durch Kalibrationsfahrten wieder abgeglichen werden. Je exakter der Fahrer des Feldhäckslers die Grundeinstellung der Maschinen vornimmt (Ansprechschwelle lernen, 0-Spalt lernen) und entsprechende Kalibrierungen vornimmt, umso exakter arbeitet das System. Dies dient zunächst nur der Erfassung von Erntemengen.

DLG Fokustest Prüfbericht Nr. 6168 F

Im zweiten Schritt wird der Trockenmassegehalt erfasst. In den Anfängen der TS-Messung wurden Leitwertensoren verwendet, die einen eingeschränkten Messbereich aufwiesen. Aktuell wird zur TS-Bestimmung die NIR-Spektroskopie verwendet. Im Gutstrom der Maschine misst der NIR-Sensor die Trockenmassegehalte durch Erfassen der Reflektionsrate im Wellenlängenbereich von Wassermolekülen. Lichtwellen werden ausgesendet, treffen auf das Häckselgut und werden teilweise reflektiert. Über den Messkopf und ein Hybridkabel werden die Lichtwellen in ein Spektrometer geleitet. Dort erfolgt die Erzeugung der Spektren, die dann auf Basis der hinterlegten Kalibration ausgewertet wer-

den können. Die Trockenmassegehaltsbestimmung erfolgt aktuell zu Silomais, Gras- und Ganzpflanzensilage. Aufgrund häufig inhomogener Bestände bzw. Schwade und der vielen Grasarten im Feld ist die TS-Bestimmung für Grassilage oder Ganzpflanzensilage aktuell ohne Genauigkeitsangaben versehen. Im Silomais wurde die NIRS-Technik durch die DLG mittels Fokus-Test in drei unterschiedlichen TS-Bereichen überprüft. Die Sensorik des Systems misst im Einsatz 20 x pro Sekunde und erreicht somit eine höhere Genauigkeit. Selbst wenn Schwankungen bei den Messungen auftreten, wird aufgrund der hohen Messfrequenz ein Ergebnis von absolut +/- 2 % TS-Abweichung beim Mais erreicht. Der im DLG Focus Test gemessene Bereich lag zw. 21 – 40 % TS, der Sensor selbst deckt jedoch eine Spannweite von 20 – 55 % TS ab.

Im Rahmen der Entwicklung gerade für die Inhaltsstoffbestimmung wurde viel Aufwand in die richtige, repräsentative Probennahme zur Kalibrationsentwicklung investiert. Hier ist es sehr wichtig, Entmischungen zu vermeiden, die Proben achtsam zu handhaben und schnell zur Referenzanalyse zu schaffen.



Bild 5: Volumenstrommessung im Feldhäcksler durch Erfassen der Einzugsgeschwindigkeit und Messen der Position der Vorpresswalzen. (Quelle: Fa. Claas)



Bild 6: Nah-Infrarot Sensor auf dem Auswurfkrümmer des Feldhäckslers ermittelt durch reflektierende Lichtwellen den Trockenmassegehalt und künftig Inhaltsstoffe. (Quelle: Fa. Claas)

Der Sensor selbst verfügt über eine Erkennung, wenn die Scheibe stark verschmutzt ist und somit nicht mehr sauber messen kann, sowie exakte Einstellmöglichkeiten zur optimalen Ausrichtung der Sensorscheibe in den Gutstrom. Geringfügigen Verschmutzungen mit möglicherweise großen Auswirkungen müssen dennoch durch Wartung und Reinigung vorgebeugt werden. Zudem bekommt der Fahrer eine Meldung, wenn der Mindestdurchsatz unterschritten wird und kein gleichmäßiges Gutpolster zur exakten Messung an der Messstelle anliegt.

In Bezug auf Inhaltsstoffbestimmung werden neben Trockenmassegehalt folgende Kalibrationen aktuell vorbereitet und abgeprüft: Stärke, Rohfaser, Rohprotein, Rohasche, Rohfett und Zucker. Im Rahmen der Entwicklung ist allerdings auch deutlich geworden, welche hohen Fehlereinflüssen auch die Referenzanalytik (bei

der Probenahme fürs Labor) vor allem bei der Inhaltsstoffanalyse im Unterschied zur TM Bestimmung ausgesetzt ist. In der Entwicklung bei CLAAS sind hier technische Lösungen gegeben sowie Absprachen mit dem Referenzlabor getroffen, die den Fehler möglichst geringhalten.

Für den einzelnen Anwender ist demgegenüber der Fehlereinfluss der Referenzanalytik bedeutend höher. So kann es beispielsweise bei der Probenahme bereits zu Entmischungen kommen, die Probe kann nicht repräsentativ gezogen worden sein oder das Handling auf dem Weg zum Labor weist Mängel auf (Kühlung). Zudem mussten wir feststellen, dass auch die Probenvorbereitung im Labor (Trocknen und Vermahlen) durchaus beachtliche Fehlereinflüsse hat. Diese genannten Punkte addieren sich unter Umständen zum eigentlichen Analysefehler hinzu, so dass eine Genauigkeitsangabe bzw. die Definition des wahren Werts in vielen Fällen schwer möglich ist.

Auf dem Thema Stärkeermittlung für Silomais liegt entwicklungsseitig hier der Hauptfokus. Aktuell müssen noch weitere Abgleiche zwischen Laboranalysen (LUFA o. ä.) und der NIRS Technik auf dem Feldhäcksler vorgenommen werden.

Hinweis:

Wie auch bei der Volumenstrommessung und der Trockenmassegehaltsbestimmung mittels NIRS gilt, dass diese Messsysteme nicht geeicht sind und damit auch nicht für Abrechnungszwecke verwendet werden dürfen.



Bild 7: Verrechnung der Daten aus Volumenstrom und Trockenmassegehalt als Grundlage der Ertragsmessung. (Quelle: Fa. Claas)

4.2 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Fliegl (C. Alkofer, M. Berndl)

Im Bereich der NIRS-Analytik arbeitet Fliegl mit dem Hause John Deere zusammen. Der NIR-Sensor Harvest Lab 3000 kann sowohl beim Ernteverfahren auf dem Feldhäcksler zum Einsatz kommen, als auch zur Inhaltsstoffbestimmung bei GülLEN und Gärresten. Insgesamt werden bei diesem System 4000 Messungen pro Sekunde durchgeführt. Im Bereich der GülLEN und Gärreste können folgende Parameter analysiert werden: TS-Gehalt, Nt, NH₄, P₂O₅, K₂O. Im Rahmen von DLG-Prüfungen wurden bereits verschiedene Versionen geprüft (u. a. Prüfbericht 6811).

Fliegl bietet die Nährstoffmengenmessung während der Gülleapplikation nur in Kombination mit Durchflussmessung an. Auf der Agritechnica 2017 wurde die NIR-Station „Nutrient Measure Station“ vorgestellt. Gerade in Zeiten mit hohen Mengen an Wirtschaftsdünger und strengeren Vorschriften durch die neue Düngeverordnung werden Nährstoffbörsen zwischen viehintensiven Gebieten und Ackerbauregionen immer notwendiger. Hohe Schlagkraft, eine ausreichende Dokumentation und genaue Ergebnisse sind die wichtigsten Ziele, die nicht nur für den abgebenden sondern auch für den aufnehmenden Betrieb zu verfolgen sind.



Bild 8: Nutrient Measure Station (Quelle: Fa. Fliegl)

Nähere Beschreibung der „Nutrient Measure Station“

Die Station kann sehr flexibel eingesetzt werden und ist durch verschiedene Aufnahmen wie Dreipunkt, Gerätedreieck, Euroaufnahme und Staplertaschen für den Transport sehr mobil. Das Substrat kann entweder durch die Station gesaugt oder gedrückt werden. Ein Durchflussmesser misst den Volumenstrom mit Hilfe eines magnetischen Induktionsfeldes. Hinter dem Durchflussmesser wird ein so genanntes „Skateboard“ installiert, welches zusammen mit dem NIR-Sensor den Ort der Nährstoffbestimmung darstellt. Optional bietet Fliegl ein Display, bei dem der Durchfluss angezeigt wird. Falls durch die Station gesaugt werden soll, kann dies bequem über einen Andocktrichter erfolgen. Durch die Ecken kommt es sowohl bei Saugen als auch Drücken zu Leistungseinbußen. Die Leistungseinbußen betreffen hier die Saugleistung in Bezug auf die Pumpenleistung. Dies ist für die Bestimmung der Nährstoffmengen allerdings unerheblich da das System in Kombination mit einem Durchflussmesser arbeitet. Der NIR-Sensor muss über den John Deere Vertrieb bezogen werden. Das Programm bei dem die Nährstoffwerte gesammelt und angezeigt werden ist kompatibel mit einem Tablet oder Laptop Microsoft Windows® Desktop OS Windows 7 (oder spätere Version). Die Daten werden bequem per W-LAN übertragen und können auch ausgedruckt werden.

Die Messungen starten und stoppen automatisch anhand des erkannten Durchflusses. Alle Protokolle werden in einer Historie mit Filterfunktion gespeichert. In der Kurzübersicht der Messberichte werden die Nährstoffe und das Gesamtvolumen zum zugehörigen Kunden dargestellt.

Aus dieser Historie lassen sich die jeweiligen Protokolle zu PDF Files konvertieren um sie problemlos ausdrucken zu können. Im PDF File sind Daten wie Aufnehmer, Übertragungsfahrzeug, Abgeber, Fahrzeugdetails, Gesamtmasse, Gesamtvolumen, Mittelwert der Inhaltsstoffe

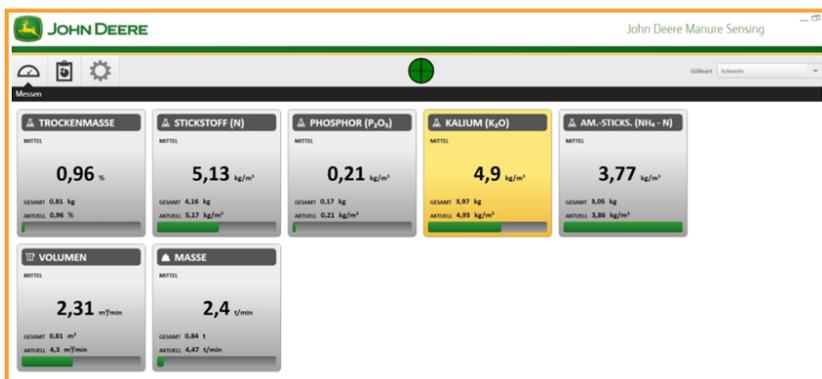


Abb. 3: Auswertsoftware der NMS (Quelle: Fa. Fliegl)

und Gesamtwert der Inhaltsstoffe enthalten. Dies ermöglicht das betriebsinterne Controlling.

Als weiteres System bietet die Fliegl Agrartechnik GmbH das MCS System an. Bei diesem ist der NIR Sensor direkt am Ausbringfahrzeug verbaut und bestimmt die Nährstoffe direkt bei der Ausbringung.

Dem System können Ziel- und Grenzwerte unterschiedlicher Nährstoffe bekanntgegeben werden. Aus diesen benutzerdefinierten Einstellungen werden Zielgeschwindigkeiten zu jedem Zeitpunkt neu berechnet.

In Kombination mit der Fliegl Flow Control Anwendung und einem John Deere Traktor wird ein automatisches nährstoffgesteuertes Ausbringen ermöglicht (TIM). Ist weiterhin ein GPS System am Traktor verbaut, können die aktuell ausgebrachten Nährstoffe in einer Applikationskarte gespeichert werden. Diese Karten können beispielsweise in Düngerstreuern eingelesen werden um Nährstoffe bedarfsgerecht auszugleichen. Das System bildet somit einen Baustein im Precision Farming Ansatz.

Falls sich kein John Deere Traktor im Einsatz befindet, werden Geschwindigkeitsvorschläge an den Fahrer übermittelt. Mit Hilfe von GPS können auch hier die Nährstoffdaten in Applikationskarten gespeichert werden.



Bild 9: MCS System (Quelle: Fa. Fliegl)

4.3 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik bei Zunhammer (S. Zunhammer, S. Dercks)

In der Gülleausbringung ist eines der größten Probleme das Informationsdefizit zum Zeitpunkt der Ausbringung. Die Nährstoffverteilung in den Güllebehältern ist sehr heterogen und kann bedingt durch die Größe der Behälter auch oft schlecht homogenisiert werden. Eine für die Nährstoffanalyse notwendige Probe wird meist zum Zeitpunkt der Ausbringung gezogen und benötigt anschließend mehrere Wochen bis die von Labors ermittelten Nährstoffangaben dem Landwirt bekannt werden. Abgesehen davon bildet eine einzige Probe oftmals nicht die komplette Nährstoffverteilung im Güllebehälter ab. Zusätzlich verschärft wird diese Situation durch deutlich strengere Dokumentationspflichten, die durch die seit Juni 2017 gültige Düngeverordnung in Kraft getreten sind.

Aus diesen Gründen beschäftigt sich Zunhammer bereits seit 2003 mit der Möglichkeit, Nährstoffgehalte in Wirtschaftsdüngern (Gülle) zu bestimmen. Nach einigen Jahren der Entwicklung wurde für das erste funktionsfähige System „VAN-Control“ auf der AGRITECHNICA 2007 die Silbermedaille verliehen. Damals noch mit getrennten NIRS-Komponenten „Messkopf“, „Spektrometer-Einheit“ und „Vorhersageeinheit“.

Seitdem hat die Fa. Zunhammer die Technologie weiterentwickelt und bietet seit 2015 VAN-Control 2.0 an. Dieses integriert die für NIRS notwendigen Baugruppen in einer einzigen physikalischen Komponente und ist gleichzeitig ein vollwertiger ISOBUS-Jobrechner. Die für ein modernes Güllefass notwendige ISOBUS-Steuerung kommuniziert so direkt mit dem NIRS-Sensor. Die Aufbereitung der Daten geschieht im ISOBUS-Terminal in der Menüführung der Güllefass-Steuerung.

Für die Ausbringung interessante Komponenten der Gülle sind:

- ▶ Gesamtstickstoff (N_{ges})
- ▶ Ammonium (NH_4)
- ▶ Phosphat (P_2O_5)
- ▶ Kali (K_2O)
- ▶ Trockenmassegehalt

All diese Werte können von VAN-Control 2.0 kontinuierlich abgeleitet, geschätzt und für die Ausbringung der Gülle verwendet werden.

Kalibriert ist VAN-Control 2.0 für Rinder- und Schweine und Biogasgärrest. Dabei ist zu beachten, dass es derzeit eine einzige Kalibrierung für

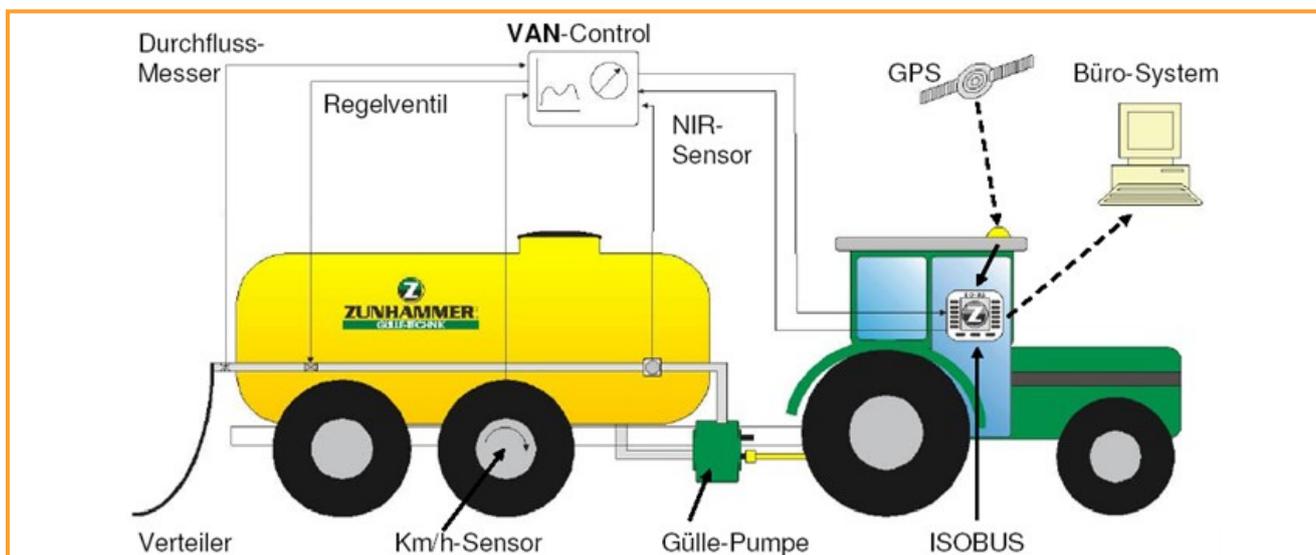


Abb. 4: Schematische Darstellung von VAN-Control (Quelle: Fa. Zunhammer)



Bild 10: Messwert-Übersicht (Quelle: Fa. Zunhammer)

alle kalibrierten Güllearten gibt. Diese kann vom Bediener weder umgestellt noch modifiziert werden. Durch die hohe 4-stellige Probenbasis werden inzwischen verhältnismäßig gute Genauigkeiten erzielt. Das kann durch die im November 2017 erhaltene DLG-Anerkennung (Prüfbericht 6801) bestätigt werden.

Der einleitend angesprochene „Jahreseffekt“ kann durchaus beobachtet werden, obwohl die Genauigkeiten innerhalb eines Jahres stabil bleiben. Spürbare Effekte für das Medium Gülle sind mittelfristig im Zeitraum von 3 - 5 Jahren zu erwarten. Solange sich das Medium nicht durch Veränderungen der Lagerung, Tierhaltung, eventuellen Zusätzen oder anderen Effekten verändert kann eine funktionierende Kalibrierung mehrere Jahre eingesetzt werden.

Die ebenfalls bereits angesprochene Herausforderung durch verschmutzte Messfenster trifft bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger nur zu bestimmten Zeitpunkten zu. Als kritisch sind hier eigentlich nur die Messungen anzusehen, die direkt nach der Wiederinbetriebnahme nach längeren Standzeiten stattfinden. Beim Befüllvorgang entstehen für Flüssigkeiten recht hohe Strömungsgeschwindigkeiten bis über 5 m/s. Diese sorgen dafür, dass das Messfenster innerhalb von Sekunden von anhaftenden Faserrückständen befreit wird. Die durchgeführte Messung liefert also trotzdem gute Ergebnisse.



Bild 11: Ausbring-Menü (Quelle: Fa. Zunhammer)

Eine größere Herausforderung stellt die Anpassung der Kalibrierung an schwankende Temperaturen dar. Gülle wird speziell im Frühjahr oft bei Temperaturen um den Gefrierpunkt (teilweise auch darunter) ausgebracht. Um NIRS für diesen Einsatzbereich überhaupt nutzen zu können, wurde VAN-Control 2.0 mit einer Heizung ausgestattet. Dadurch ist es möglich, bei Außentemperaturen bis -10° Messungen durchzuführen. Die Kalibrierung ist darauf abgestimmt und entsprechend belastbar. Für VAN-Control 2.0 gilt ein Arbeitstemperaturbereich von -5°C bis +50°C.

Das Zusammenspiel zwischen den beiden ISOBUS-Geräten „VAN-Control 2.0“ und Güllefass-Steuerung“ ist bei Zunhammer wie folgt realisiert:

- ▶ Messungen werden beim Befüllvorgang durchgeführt und in der Güllefass-Steuerung gemittelt.
- ▶ Diese Mittelwerte werden beim Ausbringvorgang als Regelgröße benutzt.
- ▶ Als Regelgrößen können je nach Bedarf verschiedene Messwerte eingestellt werden.

Die Homogenität der Nährstoffe im Güllefass bleibt nach dem Befüllvorgang auch ohne Rührvorrichtung einige Zeit erhalten. Falls nach der Befüllung längere Transportfahrten zum Feld stattfinden empfehlen wir die Installation einer Rührvorrichtung. Diese Empfehlung gilt unab-

hängig davon ob VAN-Control 2.0 verbaut wird oder nicht.

Mit VAN-Control 2.0 ermittelte Werte können mit dem ISOBUS Task-Controller im Terminal aufgezeichnet werden. Auf der Basis von Durchflussmessern oder ähnlichen Messgeräten ermittelte Flüssigkeitsmengen werden mit den Nährstoffgehalten verrechnet und entsprechend aufsummiert. Falls im ISOBUS-System ein GPS-Empfänger installiert ist werden beim Ausbringvorgang auch die dosierten Mengen dokumentiert.

Eine recht neue Möglichkeit der Aufzeichnung bieten Telemetriesysteme. Diese entlasten die Bediener der Geräte stark und sorgen für eine durchgehend nachvollziehbare Dokumentation der geleisteten Arbeit.

Es hat sich gezeigt, dass VAN-Control 2.0 auch recht problemlos an Fahrzeuge anderer Hersteller angebaut werden kann. Zunhammer hat inzwischen Erfahrung mit der Nachrüstung von VAN-Control 2.0 an Selbstfahrern, Güllefässern und Verschlauchungsanlagen von verschiedenen Herstellern. Es wurden sogar ältere Fahrzeuge, die bisher keine Elektronik aufgebaut hatten, mit NIRS aufgerüstet.

Durch die Verfügbarkeit der NIRS-Technologie für Wirtschaftsdünger werden alte Prozesse auf neue Wege gebracht:

- ▶ Gülletransporte könnten mit zutreffenden Lieferscheinen versorgt werden (derzeit nach Fachrecht nicht gültig).
- ▶ Biogasanlagen können erstmals quantifizieren, welche Nährstoffe von wem angeliefert und auch abgeholt werden.
- ▶ Nährstoffbedarfssensoren können durch Kombination mit NIRS beim Gülleausbringen den Nährstoffbedarf pflanzengerecht decken.
- ▶ Güllebehälter könnten heterogen entleert werden:
 - nährstoffarme Flüssigkeiten (Schwimm-schicht) können in hohen Dosierungen auf arrondierten Flächen,
 - nährstoffreiche Flüssigkeiten (Sink-schicht) weiter transportiert und in geringen Dosierungen auf große Schläge verteilt werden.



Bild 12: Die Königsklasse: Nährstoffbedarfssensor kombiniert mit Nährstoffsensor (Quelle: Fa. Zunhammer)

4.4 Angebote und Möglichkeiten der NIRS-Analytik im selbstfahrenden Futtermischwagen bei SILOKING (P. Twickler)

Es ist im Interesse jedes Milchviehhalters, ganz genau zu wissen, was er seinen Kühen vorlegt. Verfüttert er die berechnete Futtermenge?

Seine Rationen basieren auf der Berechnung des Trockenmassegehalts, doch die kann im Silo stark schwanken. Eine falsch berechnete Futterration bringt vier große Nachteile mit sich: eine niedrigere Futtereffizienz, Stoffwechselprobleme bei der Kuh, schwankende Milchleistungen und einen höheren Anteil an Futterresten, die ungenutzt bleiben und beseitigt werden müssen.

Alles kostet den Landwirt bares Geld. Schon bei mittelgroßen Herden können sich dadurch Beträge aufsummieren, welche die Wirtschaftlichkeit der Milchproduktion deutlich verschlechtern.

Mit einer Fütterung nach Augenmaß lässt sich die maximale Milchleistung pro Kilogramm Trockenmasse nicht erzielen. Mit dem NIR-System von Dinamica Generale vorn im Fräskopf des

SILOKING Selbstfahrers sind Milchviehhalter bei der Mischung der Rationen nicht mehr auf Vermutungen angewiesen, sondern können jetzt ganz präzise die Zielkomponenten anpassen.

Besondere Vorteile bietet das NIR-System bei Silos mit Schichten von Futter unterschiedlicher Herkünfte und verschiedenen spezifischen Gewichts. Im Gegensatz zur stichprobenartigen Trockenmassenmessung kann das System schon während der Futterentnahme anhand der in Echtzeit gemessenen Werte exakt nachsteuern. Es weiß, welchen Trockenmassegehalt das eingeförderte Grundfutter hat und kann die geplante Zielkomponente anpassen. So werden die einzelnen Futterkomponenten im Gewicht nicht nach der Frischmasse, sondern nach der Trockenmasse berechnet. Die beiden am meisten genutzten Futterkomponenten sind Grassilage und Maissilage. Da diese die größten Schwankungen in der Trockenmasse haben.

Das NIR-System wird in die Entnahmefrüse der SILOKING Selbstfahrer verbaut. Das Futter wird



Bild 13: Die NIR-Technologie ermöglicht eine kontinuierliche, berührungslose und zerstörungsfreie Echtzeitanalyse (Quelle: Fa. SILOKING)

von der Fräse aus dem Silostock gelöst und passiert den Trockenmasse-Scanner. Der Scanner erfasst die aktuellen Trockenmassegehalte und gibt die Daten an die Rechnerungseinheit (Programmierwaage DG8000-IC) weiter. Die Programmierwaage berechnet im Abgleich mit der geplanten Ration in Echtzeit das Zielgewicht jeder Futterkomponente neu und zeigt dies am Display an. Dadurch ist gewährleistet, dass die errechnete Ration auch wirklich präzise geladen wird.

Funk-Datenübertragung

Mit der neuen 3G-Funkübertragung werden alle analysierten Fütterungsdaten sowie die Beladegenauigkeit vom Selbstfahrer an die Fütterungssoftware übermittelt. Mit diesen Daten kann im Anschluss an den Fütterungsprozess eine ausführliche Analyse mit umfassender Dokumentation durchgeführt werden.



Bild 14: NIR-System vorn im Fräskopf (Quelle: Fa. SILOKING)

Technische Eckdaten

Die Analyse liefert sehr exakte Ergebnisse bei ordnungsgemäßem Einsatz. Die Messabweichungen liegen maximal bei +/- 2 %.

Analysierbare Futterkomponenten:

- ▶ Grassilage (0 - 79 % TM)
- ▶ Maissilage (20 - 49 % TM)
- ▶ Heu (87 - 92 % TM)
- ▶ Luzerne (85 - 94 % TM)
- ▶ Sojamehl (88 - 91 % TM)
- ▶ Feuchtmals (44 - 81 % TM)
- ▶ Totale Mischration (32 - 67 % TM)



Bild 15: NIR-System bestehend aus Scanner, Programmierwaage und Modem (Quelle: Fa. SILOKING)

5. Zusammenfassung zur NIR Messtechnik in der Landwirtschaft

Die Verbreitung von Mess- Regel- und Steuer-techniken in der Landwirtschaft schreitet immer weiter voran. Dabei wurden in der Vergangenheit überwiegend technische Fortschritte im Bereich der sensorunterstützten Ertrags- und Qualitätsbestimmung von Ernteerträgen z. B. bei Mähreschern erreicht. Neben dieser Ertragsüberwachung wurden zunehmend auch Sensortechnologien im Bereich von Precision Farming und der Ausbringung von Wirtschafts- und Mineraldüngern eingeführt. Dabei muss man sich jedoch hinsichtlich der Präzision der Messergebnisse bei jedem Parameter die Frage stellen: „Wofür werden diese Werte eingesetzt?“. Entsprechend genau muss die Sensortechnologie die tatsächlichen Werte abbilden. Insgesamt kann man die Vor-Ort-Technologie in der Landwirtschaft vor allem aus wirtschaftlichen Gründen oder wegen gesetzlicher Vorgaben einsetzen. Dabei sind die Anforderungen an die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben sicherlich bedeutend höher zu veranschlagen als eine Ertragserfassung bei der Ernte. Es sind in der Regel folgende Bereiche, in denen neuartige Sensortechnologie bereits eingesetzt wird:

- ▶ Feuchtebestimmung von Häckselgut
- ▶ Ertragserfassung der Ernte
- ▶ Qualitätsüberprüfung von Ernten
- ▶ Untersuchung von Mineraldüngern
- ▶ Untersuchung von Wirtschaftsdüngern
- ▶ Unkrauterfassung
- ▶ Physikalische Bodenparameter und
- ▶ Chemische Bodenparameter
- ▶ Biologische Überwachung
- ▶ Precision Farming und Satellitenüberwachung

Bei einigen dieser Bereiche, wie z. B. der Feuchtebestimmung von Häckselgut oder der Untersuchung der Ernten und den Wirtschaftsdüngern, aber auch der Bodenuntersuchung kommt u. a. die Nahinfrarottechnologie zum Einsatz. Wie schon im Kapitel 4 (Herstellerebene) beschrieben, wurden solchen Sensoren von einigen Herstellern für die Untersuchung von Feuchtegehalten im Mais und inhaltsstofflicher

Untersuchungen von Gülle und Gärprodukten bereits in die Praxis umgesetzt.

Bei der Feuchtebestimmung von Maishäcksel gibt der Hersteller Claas, unterstützt durch die Ergebnisse eines DLG-Prüfberichts 6168 F an, dass bei einem Messbereich von 21 - 40 % TS, 95 % der Proben eine Abweichung von weniger als 2 % TS vom Laborwert hatten. Dies ist ein sehr guter Wert und hier spielt die NIR-Technik ihre Stärke voll aus. Denn der Wassergehalt ist mit NIR sehr gut zu bestimmen. Die NIRS-Werte der Feuchtebestimmung kommen der Laboranalytik schon sehr nah. Doch ist der TS-Gehalt hauptsächlich ein Parameter der Erntequalität und sollte grundsätzlich nicht als repräsentativ für alle NIRS-Messungen angesehen werden.

So sind in den weiteren Kapiteln des Herstellerebene Kapitels 4 vor allem die Messungen von Fliegl, die eine John Deere Technik verwenden als auch die VAN-Control Technik von Zunhammer, beschrieben. Beide NIRS-Techniken wurden von der DLG (2017) geprüft und unter den Prüfberichten 6811 und 6801 veröffentlicht. Der Messfehler bei der Messung von Rinder- und Schweinegülle, sowie Gärresten lag bei beiden Systemen und verschiedenen Parametern, nach einer intensiven Homogenisierung der Proben, zwischen Werten unter 10 % und Werten über 35 % rel. Abweichung zum Labormittelwert. Damit liegen alle Hersteller etwa im gleichen Bereich. Dieses gilt für die Messungen von Rinder-, Schweinegülle und Gärprodukten. Sicherlich ist die Genauigkeit dieser Werte für pflanzenbauliche Zwecke und zur Dokumentation für den Landwirt persönlich völlig ausreichend. Zur Einhaltung gesetzlicher Auflagen fehlt jedoch bislang die Anerkennung in den meisten Bundesländern.

Für die beiden Vor-Ort-Sensoren zur Bodenanalytik, den Stenon-Sensorpaten und den Agrocres Handsensor liegen bislang leider keine Prüfberichte oder ausreichende wissenschaftliche Untersuchungen vor. Und auch bei dieser NIRS-Technik werden die Abweichungen der Messergebnisse ebenfalls etwa im o. g. Bereich zwischen 10 und 35 % liegen. Umso erstaunli-

cher, dass der Hersteller für seine NIRS-Analytik im selbstfahrenden Futtermischwagen bei SILO-KING einen Fehler von nur 2 % angibt. Aber auch hier fehlt eine wissenschaftliche Validierung.

Eine Ausnahmestellung nimmt das System Lab-in-a-box der Firma Agrocares für die Bodenanalytik ein. Dieses System kombiniert eine präzise Labortechnik, die zwar nicht so einfach ist wie ein Handsensor, kann aber auch von einem geübten Laien durchgeführt werden. Nach Probenahme und Probenvorbereitung durch den Anwender erfolgt die Messung und darauf die Analysenauswertung durch eine Software der Firma Agrocares in der Cloud. Damit ist dieses System nahezu gleichwertig zu einer professionellen Analytik eines Labordienstleisters.

Bei allen beschriebenen NIRS-Techniken ist die einfache Handhabung der Geräte das Bestechende. Die Messungen mit den Sensorsystemen benötigen keine Chemikalien, sie sind schnell und zerstörungsfrei und ermöglichen eine Auswertung auf dem Feld. Diese Technik kann auch von einem wenig geschulten Nutzer nach einiger Übung unter Beachtung der Reinhaltung des NIRS-Strahlengangs verwendet werden. Zudem entfallen in der Regel die Bodenprobenahme mit allen ihren Fehlern, der gekühlte Versand der Proben an ein Labor und die Versandkosten. Diese Vor-Ort-Techniken funktionieren in der Regel auch weitgehend gut bis zufriedenstellend, doch sind sowohl die Mengmessungen, die Feuchtebestimmung und die inhaltsstoffliche Bestimmung der Nährstoffe in Pflanzen, im Boden und in Wirtschaftsdüngern nicht geeicht und validiert und sind damit auch nicht für die Einhaltung gesetzlicher Vorgaben und für Abrechnungszwecke geeignet. Was man bei den Messungen bekommt sind „Schätzwerte“, die zudem von der Güte der erhobenen Daten in der Datenbank der Firmen abhängen. Leider werden diese Datengrundlagen der Hersteller nicht offengelegt. Die Schätzwerte werden in der Regel nicht an „echte“ Laborwerte heranreichen können, doch muss man dieser Technik zugute halten, dass bei der mobilen Messung auch Probenahmefehler, Veränderungen der Probe beim Transport und Messunsicherheiten unterschiedlicher Labore entfallen.

Leider jedoch unterliegen die NIRS-Systeme aller Hersteller keinerlei ständige Qualitätskontrolle und jährlicher Validierung. Daher sieht die VDLUFA diese Technik zum momentanen Zeitpunkt als noch nicht empfehlenswert an. Wegen dieser momentanen Defizite muss der Zweck der Vor-Ort-Messungen vom Anwender genau betrachtet werden. Will man auf unproblematischen Standorten eine bedarfsgerechte Düngung bemessen, kann ein Messergebnis mit einem mobilen Messgerät durchaus ausreichend sein. Will man jedoch Umweltaspekte, Belastungen des Grundwassers, die Einhaltung der Düngeverordnung, die Bodengesundheit oder die Artenvielfalt im Fokus behalten, müssen die mobilen Messergebnisse qualitativ noch verbessert werden. Auf diesem Weg fehlt allen Geräten, sowohl den Vor-Ort-Bodenanalytik, als auch den mobilen Messgeräten im Umfeld von Wirtschaftsdüngern eine ständige Validierung und Überprüfung der Sensoren und somit auch Messergebnisse vor Ort. Zu beachten ist ferner, dass die mobilen NIR-Bodenmessgeräte unbedingt eine Online-Verbindung benötigen und zudem mit Akkustrom versorgt werden müssen.

Bei vielen sensorgestützten Messsystemen ist in der Zukunft mit vielen weiteren Entwicklungen und einer weitreichenden Einbindung von digitalen Systemen zu rechnen. Auf Erntemaschinen hat sich die sensorgestützte Technologie schon weitgehend etabliert, doch beim Feldfutterbau, bei der Überwachung gesetzlicher Vorgaben, bei der Düngung und bei der Messung von physikalischen, chemischen und biologischen Parametern in Wirtschaftsdüngern und im Boden sind noch deutliche Verbesserungen der Technik erforderlich. Dennoch werden diese innovativen Möglichkeiten, wenn diese Systeme vom Anwender und vom Gesetzgeber akzeptiert werden, in den kommenden Jahren, immer mehr in der landwirtschaftlichen Produktion und in gärtnerischen Anwendungen Einzug halten.

6. Literatur

- ▶ [1] Agrocates, Scanner, Nährstoffscanner, Nährstoffscanner; Weitere Informationen über die Webseite des Herstellers unter <https://www.agrocates.com/>
- ▶ [2] FRANK, H. (2005): Wikimedia Commons, lizenziert unter GNU-Lizenz für freie Dokumentation. http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Electromagnetic_spectrum_sRGB.svg?uselang=de
- ▶ [3] TOCKL, A., Lichti, F., 2017: Near-infrared spectroscopy (NIRS) for a real time monitoring of the biogas process, In Bioresource Technology, 2017, ISSN 0960-8524, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.173>. (<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852417317388>)
- ▶ [4] STOCKL, A., Lichti, F., 2017: Nahinfrarot Spektroskopie (NIRS) als Monitoringtool für den Biogasprozess. Digitale Transformation – Wege in eine zukunftsfähige Landwirtschaft, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik, Bonn 2017, 145-148.
- ▶ [5] Gummeny, A., (2007): Rheo-optische Fourier-Transform-Nahinfrarotspektroskopie von Poly (dimethylsiloxanen), Dissertation an der Universität Duisburg-Essen
- ▶ [6] Henkelmann, G., Höck, S., (2014): „Weiterentwicklung spektroskopischer Schnellverfahren zum Nachweis von Kleberproteinen bei Weizenkorn und –mehl“, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/zentrale_analytik/dateien/backqualitaet-kleber.pdf
- ▶ [7] Henkelmann, G. (2014): „Nahinfrarotspektroskopie, ein Instrument zur quantitativen und qualitativen Bestimmung von Mykotoxinen im Weizen“, https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/zentrale_analytik/dateien/backqualitaet-mykotoxine.pdf
- ▶ [8] Muscheler W., (1999): „Zerstörungsfreie Analyse von Lebensmitteln mit NIR und Perten Dioden Array“, Tagungsband der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung 34. Tagung, ISBN: 3-9805230-3-9
- ▶ [9] Stockl, A., Lichti, F., (2017): an der LfL Freising: „Nah-Infrarot Spektroskopie (NIRS) als Monitoringtool für den Biogasprozess“, Lecture Notes in Informatics (LNI), Gesellschaft für Informatik (Bonn), S.145-148
- ▶ [10] Stenon Sensorpaten, Farmlab, Xlab : Weitere Informationen über die Webseite des Herstellers unter <https://stenon.io/>
- ▶ [11] „NIRS Untersuchung zur Erfassung futterrelevanter Qualitätsparameter von Silomaisorten in einem Gerätenetzwerk“ Tagungsband der Landbauforschung Völkerode, Sonderheft 163, ISSN: 0376-0723

Zitiervorlage: Lichti, F., Thurner, S., Henkelmann, G., Döring, G., Alkofer, C., Berndl, M., Zunhammer, S., Dercks, S. und Twickler, P. (2022): Was kann NIRS in der Landwirtschaft leisten? In: Biogas Forum Bayern, bif27, Hrsg. ALB Bayern e.V., <https://www.biogas-forum-bayern.de/bif28>, Stand [Abrufdatum].

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und
Landwirtschaftliches Bauwesen (ALB)
in Bayern e.V.

Vöttinger Straße 36, 85354 Freising

Telefon: 08161 / 887-0078

Telefax: 08161 / 887-3957

E-Mail: info@alb-bayern.de

Internet: www.alb-bayern.de