

小規模農場 PF 情報通信システムの事例

—IKB-Dürnast 農場—

Prof. Dr. H. Auernhammer/ミュンヘン工科大学・農学部

要 旨

精密農法 (PF) は、農学分野の重要課題として国際的に研究が進められている。マップベース PF がその研究の主流となっている。ヨーロッパでは、“窒素施肥のためのリアルタイムアプリケーション”を基本とする新たな方向性が見えている。標準化されたコミュニケーション技術を用い、農業現場に応用するための総合管理手法が研究されている。そのための基盤技術が LBS により準備されている。研究プロジェクト IKB-Dürnast は、これら技術の出発点にあり、目的を見据えた総合管理手法のなかで、LBS による“マップオーバーレイリアルタイムアプリケーション”という方法に拡張している。この計画はようやく成果を公開できる段階に達した。

キーワード: 精密農法 (プレジジョンファーミング), GPS, 農用バスシステム (LBS), マップベース, センサベース, マップオーバーレイ, 情報システム, オンファームコミュニケーション

1. はじめに

エレクトロニクスは農業機械に絶え間なく入り込んでいる。いま世界中で数多くの PF 研究が展開されている。昨今、ミネソタ (USA)¹⁾ やヨーロッパで開催されている国際学会²⁾ はこのテーマ領域の課題に取り組んでいる。主な重点領域は、収量調査、土壌サンプリングと可変施肥技術をキーワードとするセッションで構成されている。防除へのアプローチは研究段階にあり、局所管理された播種作業は最初の試験段階にある。

図 1 に示すように、米国およびヨーロッパでの施肥作業には、システム構成上大きく異なる 2 つの手法が見られる。

1.1 マップベース PF

センサは GPS と連動して位置情報を持った収量データを収集する。また土壌サンプリング時にも GPS 利用により位置情報が得られる。マッピングソフトを利用して収量ならびに土壌栄養状態のラスタ、もしくはコンターマップが作成される。これらはアプリケーションマップ作成のための土壌マップ、施肥量制御、エキスパートシステムと関連して機能する。施肥量は過去の履歴を参照して、将来が理論的に予測される。このことは水分供給や天候状態が過去数年間全く変化がないとき、初めて適切で信頼のおける量となる。この場合、施肥においてはリン (P) やカリ (K) 供給は限定された局所的な要求に適合させることが出来る。また微量栄養素

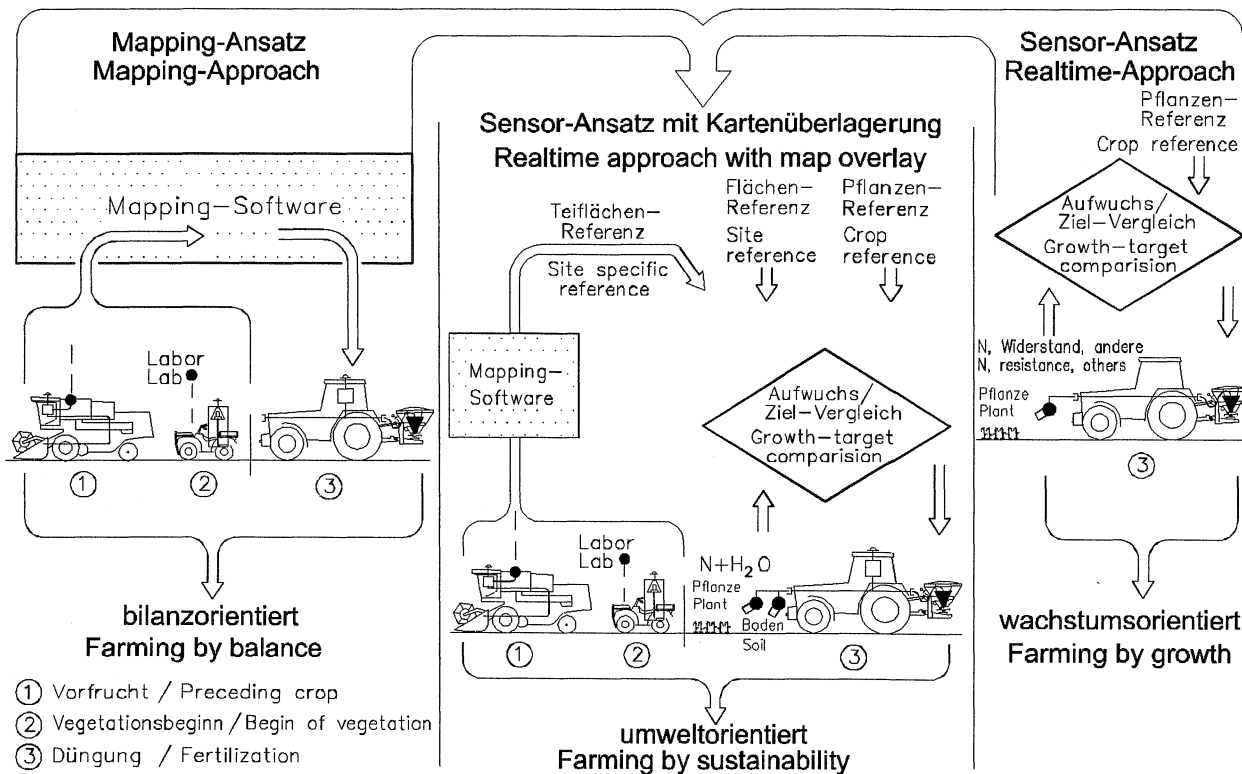


図1 作物生産の局所施肥法におけるシステム開発

に関しても同じことが云える。

作物生産と関連してのこのマップベース利用法(Ansatz)は、土壌中の基本栄養素の需要と供給バランスを理想的にする。ただし、この手法は比較的収量の少ない水準で、窒素施肥の少ないか、または全く不足している場合にそれなりの強みがある。マップベース利用法は、基肥が栽培期間に一度だけ施肥されるのであれば、また条播や点播であってもそれなりに強みを発揮する。

1.2. リアルタイムアプローチ

施肥調整則は施肥作業車両上にオンラインシステムとして装備されている。リモートセンシングにより実際の生育状態(葉緑素量や作物ストレス,...)が収集される。アプリケーション(ソフト)がこのデータを標準化された成長曲線を参照して直接、時間と距離に比例したデータに変換する。地理参照データは必要ではない。収録時点では反応しないか、または事前に決定されたプログラムに従って反応する。?

この手法による出力データ値は、そのまま生産バイオマスとしての実作物生育量となる。これは、過去の気候、土壌中の有効態窒素量、水分量に著しく左右される。この手法は、施肥量を調整することで均一な窒素施用による高収量の育成を目指すことが出来る。土壌水分が少ないときでは、この方式は窒素の過剰投与とその結果強い土壌浸食の危険³⁾をもたらす。

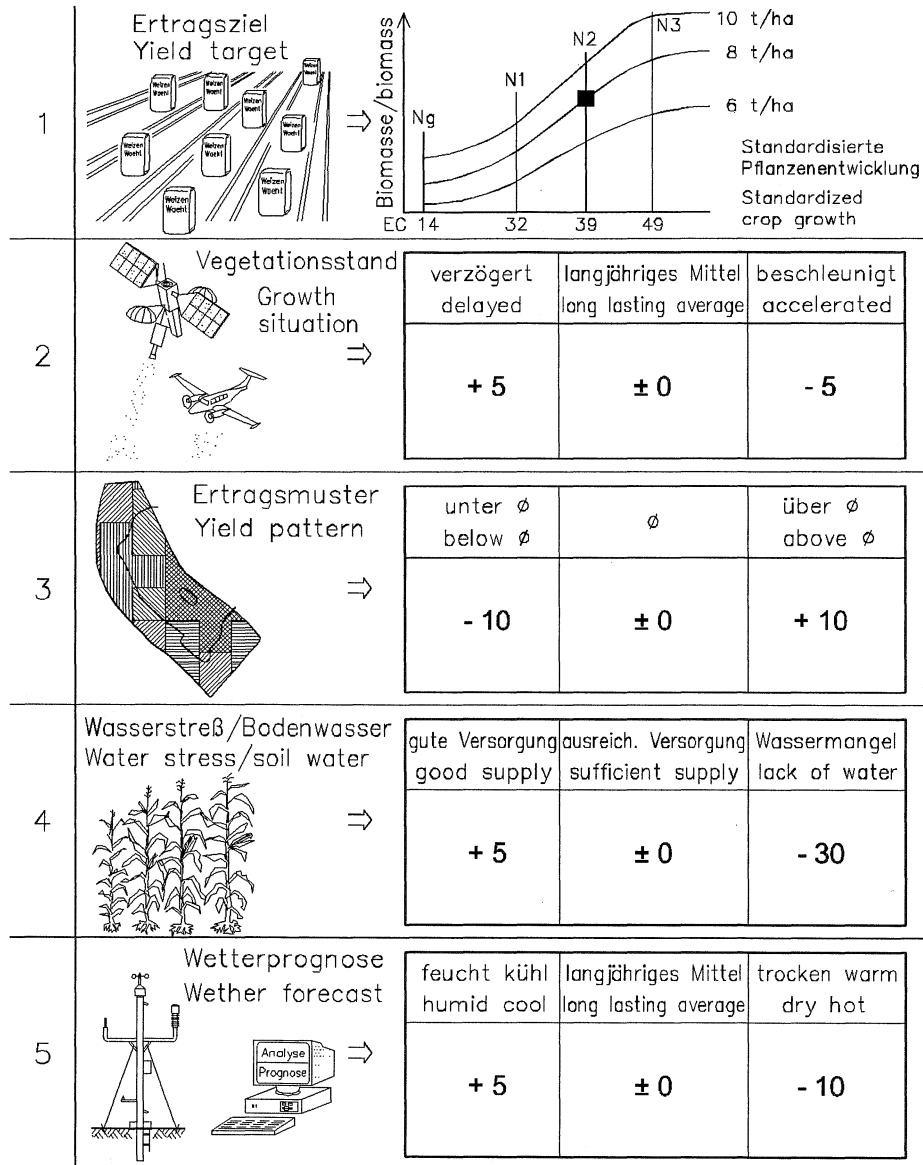


図2 局所所要窒素量の算出

1.3 摘要

これら2手法では、窒素投与の削減という設定条件で環境負荷を無くしつつ、同時に高収量水準の作物生産を達成することは不可能である。マップベース手法は過去のデータで作成された単純な統計上の平均値を記述しているので、作物を含む気象条件の変動と関係つけられなく、厳しいものがある。これに対しリアルタイムアプリケーションによるバイオマス生産量を専ら追求することは、必然的な問題を生ずる。すなわち、場所により不足する土壌水分が作物体への養分搬送を制限し、またより少ない土壌養分が目標とする収量値を得ることが出来ないという理由があるからである。

2. マップオーバーレイ法を用いたリアルタイムアプリケーション

前述の手法を改善するためには、両者が矛盾することなく融合されねばならないし、不足するセンサ類が補完されねばならない。局所的に要求される窒素量は、図2に示す数値が採用される。

- 1) 施肥成果の参照値として作物と品種に特化した生長曲線が、それぞれ異なる収量目標に対応して示されている。
- 2) これらの参照値は、実際の栽培の中で最初の補正として用いられる。そのデータ収集は、グラウンドベースリモートセンシングや人工衛星によるリモートセンシング情報を加味すると、広域なものとなる。
- 3) さらに補正を重ねることで場所的にも長期的な収量潜在能力が予測される。その導出は、多年にわたる場所的な収量調査と（マップベース手法による）土壌サンプリングから生じる。
- 4) それに続いて、有効土壌水分量が考慮されねばならない。これは更にオンラインセンサを開発することで直接、また間接的に作物状態から収集することである。
- 5) それでもなお実際に要求される施肥量は、天候を考慮することである。

オンラインデータ収集およびリアルタイム施肥とならび、システムアプローチで長期的データの研究が採用されねばならない。これは全体的な生産技術と結びついた生産管理情報システムの構築を必要とする。

3. “IKB” の研究プロジェクト

ドイツ学術振興会 DFG からの資金助成による “IKB-Dürnast “の研究プロジェクトは、実施期間が6年に設定されている。それぞれ3年毎の2実施期間では、まず基礎研究として “小規模農場 PF システムと、次の期間ではシステムアプローチ総括検証のための戦略研究が取り上げられる。

最初の3年間では（農学部の）5講座がこのプロジェクトを分担している。これら5講座は図3に示された7課題を研究する。

TP1 - 収量マップ（農作業機械学講座）

1990年からの Scheyern 実験農場での大規模な収量調査研究と、1995年からの Dürnast 実験農場では、肥料に応じた収量マップから収量を予測するための基準化研究が行われている。DGPS の位置計測誤差と収量計測センサ誤差が考慮されている。収量偏差と収量区分に関する許容基準が創出される。これらはオンライン窒素施肥作業のために限定された場所的参照値として用いられる。

TP2 - プロセスデータ（農作業機械学講座）

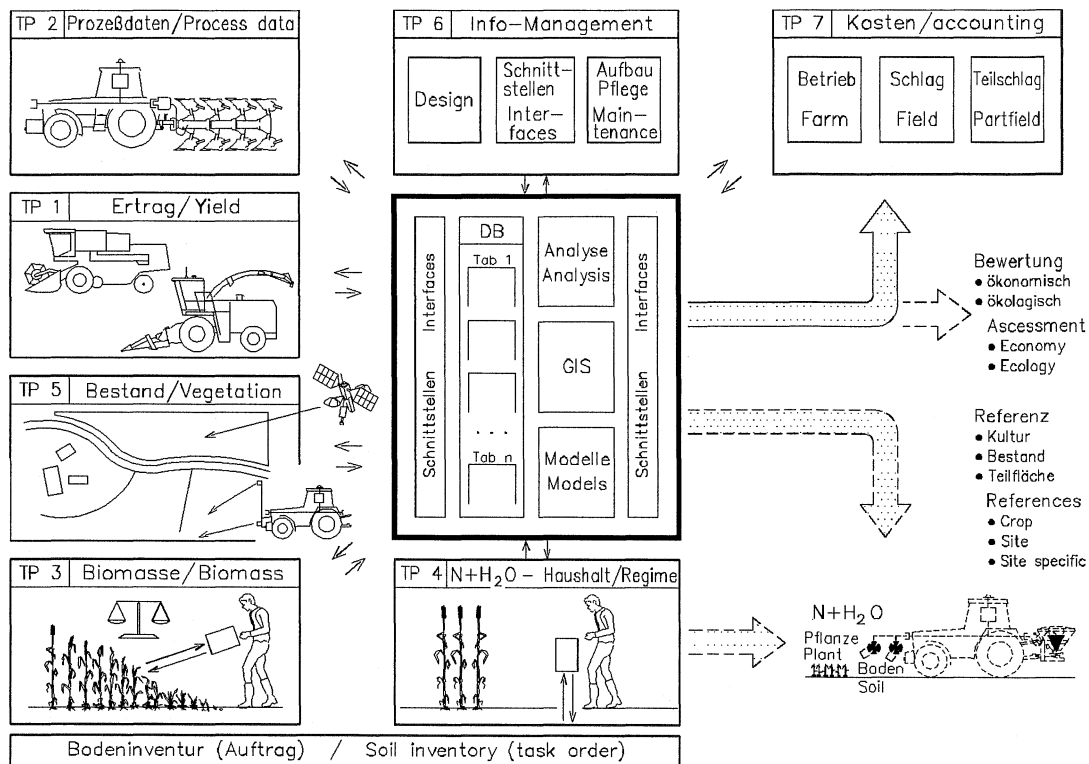


図3 IKB-Dürnast プロジェクト研究の課題分担の関係

このプロジェクトの基礎課題は、ずばり“農用バスシステム LBS” そのものである。LBS は GPS と連動してデータ収集とプロセスの自動化を可能にする。安全で、手頃な経費で、信頼性のある計測データ収集が可能であり、これにより全体管理とその生産単位の経費考察が確実なものとなる。したがって、営農事業体で所有するすべての農業機械・作業機をプロセスの中で一元化することが出来る。方法論的に斬新な可能性は、情報システム設計の中で考慮され、特化したデータ収集アルゴリズムをカバーする。土壌耕うん作業用に算出されたローカルプロセスデータは、オンライン施肥システムにインプットされる。

TP 3 - バイオマス (作物生産学講座)

ここでの分担プロジェクト課題は、作物生育期間を含むバイオマス生産のための品種に特化した参照値を作成することにある。それは生育中の冬播き小麦や飼料用トウモロコシの葉面反射光測定を用いて実施され、同時にバイオマスとその内容成分調査のためのサンプリングが並行して実施される。期待される機能は窒素施肥システムにおけるリアルタイムな施肥量を明らかにすることにある。

TP 4 - 水分と窒素管理 (作物栄養学講座)

ここでは窒素施肥システムを開発するために、オンラインセンサで水分と窒素管理を関係づけることにある。このセンサはリアルタイムな施肥量制御システムの局所入力値を収集する。具体的にはグラウンドベースや人工衛星によるリモートセンシングと誘電式土壌水分計が組み込まれている。最終目的は組込みセンサ用にキャリブレーション関数を用意することにある。

TP 5 - 植生生産 (土地有効利用と自然保護講座)

一般的な植生生産のデータ収集は、2つの異なる方向からの反射光計測を用いて調査対象ほ場の内

外から行う。近接情報（トラクタ支持，航空機搭載スキャナ）とサテライト（人工衛星）スキャナを用いるリモートセンシング情報が使用される。測定データは最適化されたキャリブレーション関数に引き渡され，モデル作成がなされる。

TP6ーデータ管理（経営学講座） すべての収集されたデータと情報は，“オンライン窒素施肥”と“エコロジーとエコノミー”という2つのプロジェクト目標のためにデータ管理センターへ送られる。したがって，この分担プロジェクトはデータ入出力のためのインターフェースを備えた所要データベースの構築と，またそのために簡素化された解析と意志決定モデルへの導入を準備することにある。

TP7ー経済性試算（経営学講座）

ここで作成されるシステムは，最終的には費用対効果分析に導入されなければならない。ここでの対象は，管理ほ場群 (der gesamte Betrieb)，ほ場単位 (der einzelne Betrieb)，ほ場内小区画 (der Teilschlag) である。作成される結果は設定目的としてこの計画に使用され，場合によっては第2段階のプロジェクト計画へと流用される。

面積 80 ha ある Dürnast 実験農場は，ミュンヘン工科大学・農学部 Weihenstephan キャンパスの近くにあり，ここが使用されている。

4. オンファームコミュニケーションシステム

プロジェクトに定められた目的は，センターのデータ記憶装置がもつさまざまな局所データ収集を必要とする。GPS を用いることによりいつでもどこでも利用できる。自動的に作動するプロセスデータ集積システムは，技術的に設置されたセンサとこれら情報が結合することにより活用される

この“農用バスシステム LBS”は，必要なコミュニケーションのための汎用接続が出来るように設計されている。

- LBS は 1997 年から標準化され，利用されている。
- 市場に出回っている既製品にも適用される。
- 規格統一された評価試験用に多くの試験・参照システムが用意されている。
- 競争的な製品提供により常に手頃な価格帯での新製品開発がなされている。

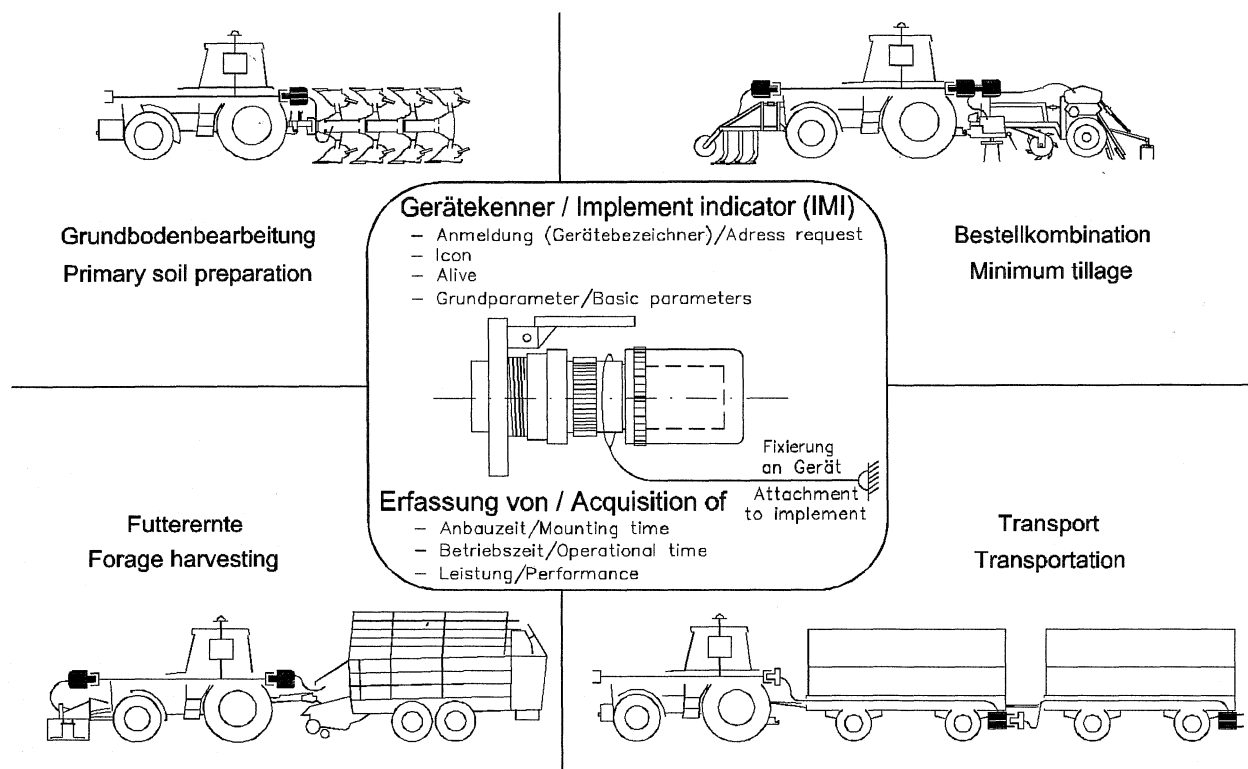


図4 典型的な“作業機インジケータ”を有するLBSと共通な作業機IDのための典型的な形式群

- ・LBSは機械化農業にますます浸透し、ヨーロッパでは業界標準として開発されるようになると思われる。

4.1 作業機識別

LBSの定義ではトラクタと作業機にそれぞれ専用のジョブコンピュータが搭載されている。これらのコンピュータが作業機に特化したプロセスコンピュータである。附属センサを介してそれぞれトラクタと作業機の状態データを収集する。アクチュエータは与えられる、または変更される制御量に変化させる。したがってLBSは、とりわけ施肥・防除、条播・点播などの作業機用に設計されている。しかしながら、これらの作業は農作業業機の中では少数派に属し、プラウ・ハロー・鎮圧ローラー・トレーラのような“Dumme(調節する部分が無い)”機械・作業機が多数派を占めている。したがって本研究プロジェクトでは、LBSは稼動している“作業機インジケータ(IMI)”のため拡張された。

これらは、内部でシステムの初期化と定期的なシステム保守機能を果たす作業機識別化のための性能を持つLBS-ジョブコンピュータで、所要最低限を上回る性能を発揮する

- ・作業機データと個別農家用に自由にプログラム可能な作業機認識(メーカー、またはその販売会社において)
- ・LBS-Terminal上に表示するためのアイコン

- ・作業機に特化したパラメータ把握用の追加センサの統合
- ・サービスや再販のためメーカー補償の機械認識カードとして自動的に機能する作業機に特化した耐久性の高いメモリ。

IMI はプログラムすることにより携行メディアを介してそれぞれの作業機と情報交換する。それらは小形化され LBS コネクタに直接組み込見込むことができるので、したがってパッシブターミネータ (wandernden Bus-Abschluss) を必要としない。トレーラ連結では LBS 準拠の専用コネクタを介し、バスの後部延長が可能とされねばならないし、当然のことであるが、他社製トラクタと他社製の作業機のような場合でも、それぞれの製品単位で確実に統合されなければならない。

4.2 プロセスデータの自動収集

プロセスデータの自動収集は、GPS を利用することで実験農場のどのトラクタでも行うことができる。これらは下記のさまざまな装備で自由に利用される。

- ・ FENDT 社製 Vario714 (機関出力 103 kW) に組み込まれた DIN9684 規格の LBS
- ・ DEUTZ 社製 Agrostar6.31(機関出力 88 kW)と 同社 Agrostar 6.71 (機関出力 121 kW) の DIN9684/1 規格の信号コネクタ
- ・ 古い SCHLÜTER Super1250VL (機関出力 96 kW) ; UNIMOG U1200 (機関出力 66 kW) ; MB trac 900(機関出力 92 kW)

以上は、LBS と互換性のある標準、または特化した付加装置を装備している。図 5 にオートマチックデータ収集のための 3 つの異なるプロセスが自走式収穫機とともに出ている。

- ・ いろいろな IMI は、“Dumme (電子化されていない) 機械と作業機” における、実験に投入されている機械・作業機を含むトラクタの基準信号をユーザ定義の時間インターバル、または距離インターバルで収集する。
- ・ アプリケーションシステム内のジョブコンピュータは、トラクタと作業機の実際の測定値を配信する。
- ・ 自走式収穫作業機は機械に特化した個別パラメータや局所収量 (水分値、ほか) を記録する。

運搬されたすべての質量は、収集システム中に組み込まれた独自の車両 ID をもつ車両秤量計により収集される。機械に特化したパラメータの呼び出しや、メーカーにより納入された自走式機械のリモート診断のため、工場直営の乾燥施設や工場との結合が設計されている。

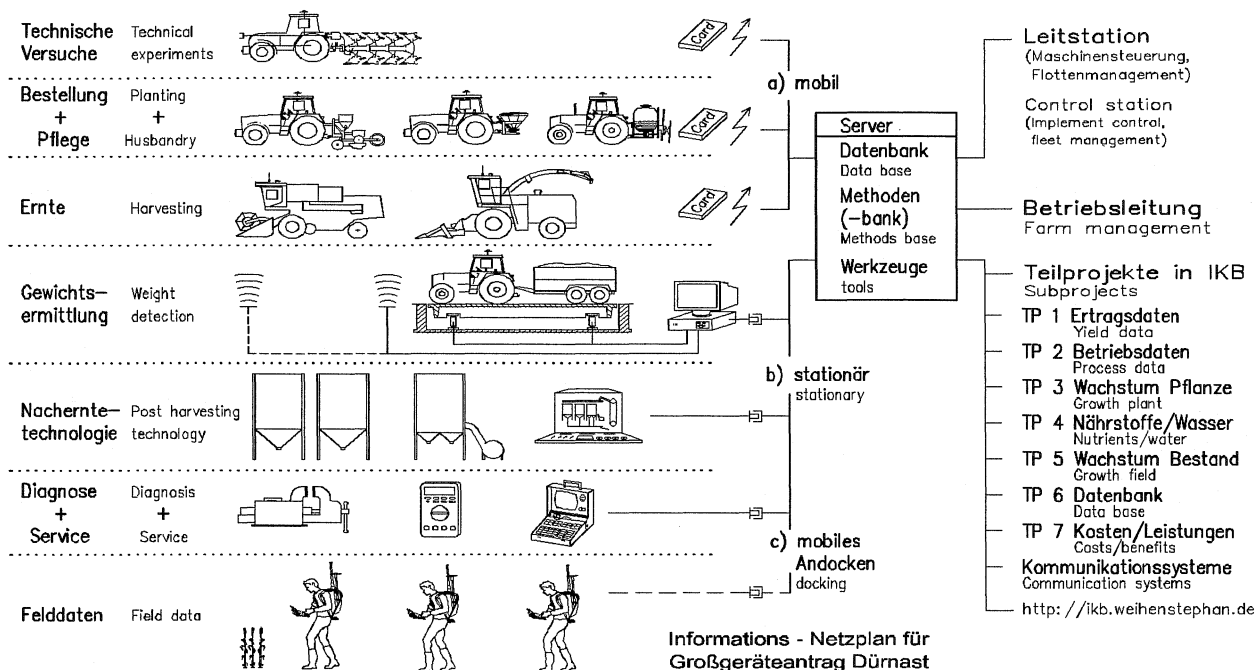


図5 実験農場 Dürrnast における情報ネットワーク

4.3 農場経営への応用

移動局と農場固定局間のすべてのデータコミュニケーションはチップカード，または PCMCIA カードで行われる．無線放送（GSM）によるコミュニケーションは，より洗練された管理システムと相まって，これから出現する．データ内容は DIN9684/5 により定義されている．データシンタックスはこの場合，農用データ変換シンタックス ADIS による ISO11787 に従っている．

研究プロジェクトの重点の一つは，必要となるデータベースの定義と設計を目標としている．この課題は，プロジェクトを分担している研究者全てによる共同作業で解決され，主な責任部所は分担課題6が担っている．実際の問題は次の通り：

- ・ 所要データ
- ・ データ解析
- ・ インターフェースの定義
- ・ 必要な機器類の準備
- ・ 一般のおよび特化したデータ解析

4.4 中間成果

現段階ではそれぞれに分担されたシステムが個々に活動している．

- ・収量調査研究は1995年から実験農場で麦と飼料用トウモロコシを手がけている。両者の収量では前と同じ場所に設置されたセンサで今日までの期間を越えた計測がなされた。これらほ場は一年を超え収量の安定した高収益が得られた。
- ・1995年からLBSプロトタイプを供試して実験農場で局所管理窒素施肥がラスタ表示のアプリケーション法により実施された。特化した調査がLBS性能と実際のBus負荷で実施された。
- ・この間に無断変速機を備えた市販商品のトラクタがLBS規格（機能仕様）を搭載する。このトラクタを供試して市販LBSターミナルで、プロセスデータの自動収集や飼料用トウモロコシについて局所管理される作物株数の最大数試験が行われた。
- ・プロセスデータ収集用に定義されたIMI'sは、2種類の異なるプロトタイプが試作されている。室内テストは特殊な“LBS設備”の一つとなる。ほ場テストは室内テスト結果の問題ないデータ伝送が出来ることを確認した。IMIの広範な投入は、研究プロジェクトの中で当然であり、ひとつの目的化した関連プロジェクトでは必要以上に稼働する機械投入が予見される。そこではまた全体のデータ変換ロジックが導入されなければならない。IMI'sではやや大きい数の配信のための最初の任務が実務条件のもとで実施された。
- ・1999年から電動の単粒播種機構をもつLBS専用播種機がトウモロコシ播種用に導入されている。これを用いて m^2 あたり7, 10, 12株で飼料用トウモロコシの局所管理播種が実施される。
- ・実験農場内部のネットワークは学内ネットワークとの接続が切断されている。このデータベースの設計は今後の継続課題である。全体のデータ管理は $1m^2$ の基礎データメッシュで実現されることになる。
- ・2000年度の作物栽培では、まず最初に窒素センサが情報取得のために投入される。比較計測を介して位置に特化した試験が行われ、その調査研究における測定偏差が分析される。

5. おわりに

ヨーロッパの生産条件下では、少ない環境負荷と場所的に、また時間的に予測された窒素施肥量でもって高い収量を得ることが出来る。それゆえに精密農法PFでの標準的な解決手段であるマップベース法は消滅するであろう。リアルタイムアプリケーション単独の施用でも不適當である。両手法から期待された組合せの中に多くの解法が存在する。したがって、営農経営で必要とされる異なるメーカー製のトラクタと作業機に基づいて、次の問題が解決されねばならない。

- ・個々の作物に必要な窒素量を参照するキャリブレーション曲線の作成

- ・ 植生状態の情報収集用リモートセンシングの採用
- ・ 作物と土壌での窒素含有率と含水率のオンライン計測
- ・ 局所管理限界として収量データの基準評価アルゴリズムの導出と利用
- ・ 管理統合した農業機械・作業機について汎用コミュニケーションを介し、局所・区画経営に特化したコスト試算のための、すべての局所管理 (PF) データ情報を収集すること
- ・ 作成システムの局所管理窒素施肥やエコノミー的とエコロジー的評価のため、汎用使用できる性能の優れた管理データベースの構築

謝 辞

本研究プロジェクトはドイツ学術振興会 DFG からの資金助成がなされている。その応用はミュンヘン工科大学・農学部付属の Dürnast 実験農場 (リーダー: Prof. Dr. A. Heißenhuber) で実施されている。FENDT/Marktobendorf と BayWa/München からは研究が遂行しやすいようにと無償でトラクタの供与に預かった。ここに記して感謝の意を表す。

参考文献

- Auernhammer, H.: Informationssystem Kleinräumige Bestandesführung Dürnast. Landtechnik 54 (1999), Nr. 4, S. 214-215
- Auernhammer, H.: Precision Farming - Lexikon In: Online-Lexikon. Frankfurt: DLG 1999, S. 44-59
- Auernhammer, H.: Precision farming: European concepts and trends. Proceedings of the IFA Agro-Economics Committee Conference "Plant Nutrition in 2000", Tours 1997
- Auernhammer, H., Demmel, M., Spangler, A., Trukenbrod, R.: Automatic process data acquisition with GPS and LBS. Abstracts of AgEng Warwick 2000: Agricultural Engineering into the Third Millennium. Silsoe: Silsoe Research Institute 2000, Part 1, pp 267-268
- Auernhammer, H., Demmel, M., Ostermeier, R., Weigel, R.: Bus Configuration and Bus Load in a Tractor Fertilizer Spreader System (LBS by DIN 9684). AgEng'96 Madrid, 23./26.9.1996, Paper-No. 96A-100

Auernhammer, H., Demmel, M., Rottmeier, J., Muhr, T.: Future Developments for Fertilizing in Germany. ASAE: Summer Meeting Albuquerque, St. Joseph 1991, Paper-No. 911040

Auernhammer, H., Frisch, J. (Hrsg.): Landwirtschaftliches BUS-System LBS (Mobile Agricultural BUS-System - LBS). Münster-Hiltrup: KTBL-Schriftenvertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH 1993, Arbeitspapier 196 (ISBN 3-7843-1841-X, 199 S.)

Auernhammer, H., Muhr, T.: GPS in a Basic Rule for Environment Protection in Agriculture. Proceeding of the 1991 Symposium "Automated Agriculture in the 21st Century", St. Joseph (USA) 1991, p. 494-502

Auernhammer, H., Schueller, J.K.: Precision Agriculture. In: CIGR-Handbook of Agricultural Engineering. Vol. III: Plant Production Engineering. St. Joseph: ASAE 1999, pp. 598-616

Auernhammer, H., Demmel, M., Maidl, F.X., Schmidhalter, U., Schneider, T., Wagner, P.: An on-farm communication system for precision farming with nitrogen real-time application. ASAE St. Joseph 1999, Paper No. 99 11 50

Hammen, C., Ehlert, D.: Online-Ertragsmessung in Klee gras mit dem Pendelum Meter. Landtechnik 54 (1999), S. 156+163

DIN: Schnittstellen zur Signalübertragung -

Teil 1: Punkt-zu-Punkt-Verbindung (DIN 9684-1; 1997-02)

Teil 2: Serieller Daten-BUS (DIN 9684-2; 1998-01)

Teil 3: Systemfunktionen, Identifier (DIN 9684-3; 1997-07)

Teil 4: Benutzerstation (DIN 9684-4; 1998-12)

Teil 5: Datenübertragung zum Management-Informationen-System, Auftragsbearbeitung (DIN 9684-5; 1999-05) Berlin: Beuth Verlag

ISO: Agricultural tractors and machinery - Tractor-mounted sensor interface - Specifications. Geneva 1995, ISO 11786

ISO: Machinery for agriculture and forestry - Data interchange between management computer and process computers - Data interchange syntax Geneva 1995, ISO 11787

Linseisen, H., Spangler, A., Hank, K., Wagner, P., Steinmayr, T., Demmel, M., Auernhammer, H., Manakos, I., Schneider, T., Liebler, J.: Daten, Datenströme und Software in einem Informationssystem zur teilflächenspezifischen Pflanzenproduktion. Zeitschrift für Agrar informatik 8 (2000), H. 2, S. 36-43

Reusch, S.: Entwicklung eines reflektionsoptischen Sensors zur Erfassung der Stickstoffversorgung

寺尾担当分/15.8.2000
Sapporo2000/Au-fig

landwirtschaftlicher Kulturpflanzen. Dissertation Kiel: Institut für Landwirtschaftliche Verfahrenstechnik 1997,
MEG-Schrift 303

Steinmayr, T. Auernhammer, H., Demmel, M.: Genauigkeitsanalysen zum Einsatz von DGPS bei Feldarbeiten.
Landtechnik 54 (1999), Nr. 4, S. 212-213

Website: <http://ikb.weihenstephan.de>

訳者注 (未完???)

窒素の過剰投与と土壌浸食との関係