

# Einsatz von ICT zur Steigerung der Energieeffizienz im landwirtschaftlichen Bereich

BACHELORARBEIT

von

**Martin Keiblinger**

Matrikelnummer 0825118

Betreuung: Dipl.-Ing. Mag. Dr. Thomas Neubauer

Wien, 15.06.2014

---

# Erklärung zur Verfassung der Arbeit

---

Martin Keiblinger  
Jedlersdorferstraße 182/1/27, 120 Wien

Hiermit erkläre ich, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst habe, dass ich die verwendeten Quellen und Hilfsmittel vollständig angegeben habe und dass ich die Stellen der Arbeit - einschließlich Tabellen, Karten und Abbildungen -, die anderen Werken oder dem Internet im Wortlaut oder dem Sinn nach entnommen sind, auf jeden Fall unter Angabe der Quelle als Entlehnung kenntlich gemacht habe.

---

(Ort, Datum)

---

(Unterschrift Verfasser/in)

---

# Abstract

---

Energy efficiency in agriculture is as important as never before. The industrial countries have to work under massive cost pressure whereas developing countries have to compensate their scarcity of resources like water or electrical energy. The purpose of this work is to give an overview of the the most important research topics for this matter.

The approach for was to find papers which are about the most important research topics defined by the agenda for transnational co-operation on energy efficiency in agriculture of the EU.

As result this paper shows a survey of papers for mathematical optimization models, sensor network technology, GIS-systems, artificial intelligence and planning systems like decision support systems. The essence of this work is the presentation suitable solutions for optimizing processes and resource consumption.

---

# Contents

---

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>1</b>
1.1	Motivation . . . . .	1
1.2	Problemstellung . . . . .	1
1.3	Verwendete Methode . . . . .	1
1.4	Verwandte Arbeiten . . . . .	2
1.5	Abgrenzung . . . . .	2
1.6	Aufbau der Arbeit . . . . .	3
<b>2</b>	<b>Datenmodellierung</b>	<b>4</b>
2.1	Datenmodelle zur Effizienzberechnung . . . . .	4
2.2	Sichten von Datenmodellen . . . . .	7
2.3	Entwurf von Datenmodellen . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Sensorsysteme</b>	<b>10</b>
3.1	Sensornetzwerke als Datenquellen . . . . .	10
3.2	Satellitensysteme als Datenquellen . . . . .	12
<b>4</b>	<b>Expertensysteme und Design Tools</b>	<b>14</b>
4.1	Automatisierte Entscheidungsfindung . . . . .	14
4.2	Expertensysteme in der Planung . . . . .	16
4.3	Planungswerkzeuge . . . . .	16
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>19</b>
5.1	Zusammenfassung . . . . .	19
5.2	Ausblick . . . . .	20
	<b>Bibliography</b>	<b>21</b>

# Einführung

---

In diesem Kapitel wird erklärt was die Motivation, die Problemstellung und die Methode die zur Ausarbeitung verwendet wurde. Abschließend wird der grobe Aufbau und der rote Faden dieser Arbeit beschrieben.

## 1.1 Motivation

Landwirtschaft spielt für jede Gesellschaft eine entscheidende Rolle, da ohne sie die Ernährung der Bürger unmöglich wäre. Für einen Staat ist eine moderne und effiziente Landwirtschaft wichtig um Abhängigkeiten zu anderen Staaten zu verhindern oder zumindest zu verringern. Daher ist dieses Thema auch für Länder der ersten Welt auf der Agenda. Da die Personalkosten hoch sind, ist die Effizienzsteigerung durch Technologie entscheidend für die Entwicklung des Landwirtschaftssektor.

Durch den ständig steigenden Energiebedarf ist vor allem die Frage nach eines optimalen Einsatzes von Energie wichtig für Zukunft der Landwirtschaftsbetriebe in der EU. Neben der Forschung in den Disziplinen der Chemie und des Maschinenbaus, ist die Informatik eine interessante Quelle für kleine und große Optimierungen des landwirtschaftlichen Betriebs. Da ich den Blick über den Tellerrand nicht nur nicht scheue sondern gerne wage und aus einem landwirtschaftlich genutzten Gebiet in Niederösterreich, dem Marchfeld, stamme, liegt mir die Zukunft der Landwirtschaft in Europa am Herzen.

## 1.2 Problemstellung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Ausarbeitung des aktuellen Standes der Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft mittels ICTs (Informations- und Kommunikationstechnik). Dazu wird ein nicht vollständiger Überblick der Literatur der letzten 4 Jahre zu dem Themen Energieeffizienz in der Landwirtschaft erstellt. Der Fokus ist eine Übersicht über Sensorsysteme, Planungssysteme und Unterstützungssysteme. Als Basis werden Arbeiten zur Modellierung der notwendigen Informationsbasis vorgestellt.

## 1.3 Verwendete Methode

Die Quellen für diese Arbeit wurden ohne Fokus auf bestimmte Konferenzen oder Datenbanken ausgewählt.

### Literaturrecherche

Um keine relevanten Arbeiten zu übersehen wurden neben den akademischen Datenbanken und Bibliotheken werden Berichte von relevanten Forschungsgruppen der EU herangezogen. Für die Suche nach Literatur wurden verschiedene Kombinationen aus folgenden Suchbegriffen gewählt:

*energy, efficiency, it, informatic, stochastic, agriculture, Landwirtschaft, Effizienz, ICT, Informationstechnologie, Planung, precision farming, planning, DSS, decision support system, GIS, geo information system*

## Selektionsvorgang

Die wissenschaftliche Literatur wurde auf Basis folgender Kriterien bewertet:

- Energieeffizienzrelevanz. Bei der Suche muss das Thema direkt oder indirekt zur Steigerung der Energieeffizienz beitragen. Dazu zählen sowohl Aufwand von Wasser wie Auslastung von vorhandenen Landwirtschaftsmaschinen.
- ICT-Relevanz. Bei der Suche nach Effizienz in der Landwirtschaft mussten alle Themen aussortiert werden die sich auf Effizienzsteigerung durch chemische Präparate oder bestimmte Entwicklungen im Maschinenbau bezogen.
- Veröffentlichungsmedium. Arbeiten die weder im Rahmen einer Konferenz noch in einem Journals oder zu in einem wissenschaftlichen Magazins veröffentlicht wurden, wurden aussortiert.
- Aktualität. Die Arbeiten mussten relativ aktuell sein. Werke die vor 2010 geschrieben wurden, wurden nicht weiter verfolgt, mit Ausnahme von Literatur die nötige Grundlagen erläutert.

## 1.4 Verwandte Arbeiten

Das Interesse in eine effiziente Landwirtschaft durch den Einsatz von ICTs wird in [1] vorgestellt, auch wenn der Fokus auf Nachhaltigkeit liegt. Effizienz ist dabei Mittel zum Zweck. Durch verschiedene Förderungen versucht die EU dies voranzutreiben. Eine Übersicht der verschiedenen Forschungsrichtungen wird im Bericht des Projekts [33] geboten. Eine mögliche Stoßrichtung um hohe Effizienz in der Aufzucht von Pflanzen zu erreichen ist *Precision Farming* [4].

Die vorgeschlagenen Forschungsschwerpunkte *Sensor technology* wird von den Arbeiten von Zhou Jianjun, Wang Xiaofang, Wang Xiu, Zou Wei und Cai Jichen in [53] aufgegriffen. Für Sensoren in Glashäusern haben Mancuso und Bustaffa eine Studie [31] präsentiert die zeigt wie Sensoren Mikroklimas messen und Pilzerkrankungen verhindern können. Kontextsensitive Landwirtschaftsorganisationssysteme die auf Sensornetzwerken aufbauen werden in [23] behandelt. Eine Möglichkeit wie diese Daten kostengünstig in einem automatisiertem System behandelt werden können, wird in [21] vorgestellt. In [43] wird ein Framework vorgestellt wie kontextsensitive Grid-Systeme gebaut werden können.

Neben *Sensor technology* wird die Forschung betreffend *Design Tools* und *Decision Support Systems* angeregt. Ein Vorschlag wie ein solche Planungsprogramme entwickelt werden könnten, wird in [50] vorgeschlagen. Ein Ansatz der GIS-Systeme, Webtechnologie und Data-Mining vereint um ein Expertensystem das verschiedene Bedürfnisse verschiedener Länder beachten kann, wird in [56] vorgestellt. Auf die Frage wie solche Daten modelliert werden können, wird in [42] behandelt. [2] beschäftigt sich mit dem weiterführenden Thema wie Umwelteinflüsse auf den Ertrag modelliert werden können.

Mögliche Hürden die eine Adaption ICT-Lösungen von Landwirtschaftstreibenden und wie diese überwunden werden können, wird in [3] vorgestellt.

## 1.5 Abgrenzung

Diese Arbeit ist durch die zeitliche Beschränkung im Umfang beschränkt. Deshalb konzentriert sich diese Arbeit auf die in [33] als wichtigsten Themen genannten Punkte:

- Sensorsysteme (GIS- und Sensornetzwerksysteme)
- Datenmodellierung
- Entscheidungsunterstützungssysteme und artverwandte Planungsanwendungen.

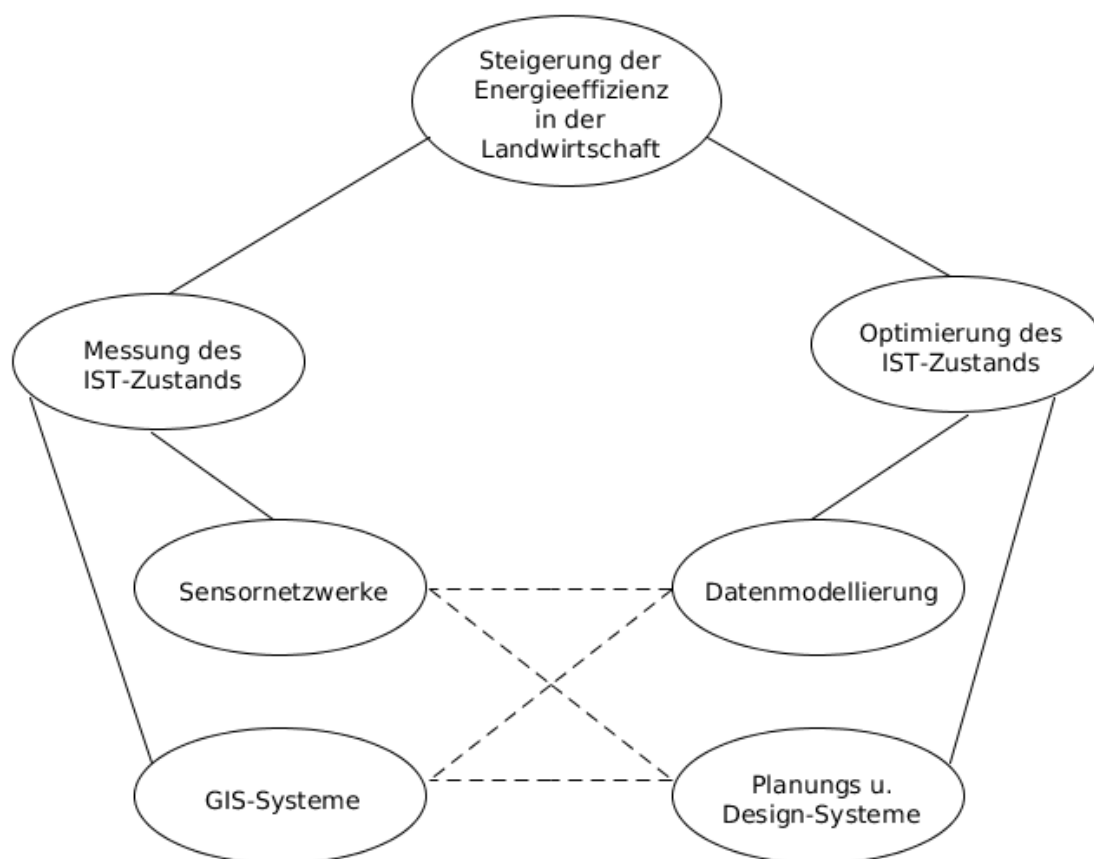
Ziel der Arbeit ist es einen Überblick über Arbeiten in diesem Gebiet zu geben. Es ist nicht das Ziel neue Erkenntnisse durch Forschung hinzuzufügen oder einen umfassenden Überblick über alle wichtigen Themen für die Steigerung der Energieeffizienz in der Landwirtschaft zu geben.

## 1.6 Aufbau der Arbeit

Optimierungen jeder Art laufen in einem iterativen Prozess ab. Ein jeder Schritt besteht aus folgenden Tätigkeiten:

- Aktuelle Kennzahlen messen.
- Optimierungen durchführen.
- Erfolg der Optimierung messen.

Diese Schritte werden solange wiederholt bis ein zufriedenstellendes Ergebnis erreicht wird. Im Bereich der Energieeffizienz in der Landwirtschaft spielen hier mehrere Teilkomponenten zusammen. Abbildung 1.6 zeigt die Themen die hier behandelt werden und wie diese in Beziehung stehen.



**Figure 1.1:** Beziehungen zwischen Themen der Arbeit. Schwarze Linien verbinden Themen mit Hauptpunkten und gestrichelte Linien verbinden Themen, die in Beziehung stehen.

Die Steigerung der Effizienz durch ICTs basiert darauf, dass die Messung von relevanten Kennzahlen zeitnah und schnell durchgeführt werden können und die Optimierung der betreffenden Stellen rechnergestützt oder automatisch geschehen.

Diese Arbeit behandelt die Bedeutung von Sensornetzwerken und GIS-Systemen und wie diese mit Planungssystemen zusammenhängen. Damit Messdaten ausgewertet werden können, müssen diese als Eingabewerte modelliert werden.

Die Modellierung geschieht innerhalb der Applikation und als Optimierungsproblem. Die Basis für die Behandlung des mathematischen Effizienzproblems stellen zwei Modellierungsklassen:

- DEA (Data Envelopment Analysis)
- SFA (Stochastische Frontier Analyse)

Aufbauend auf diesen Modellierungsklassen werden Arbeiten vorgestellt die für Landwirtschaftseffizienzsteigerung geschrieben wurden.

Die Daten aus den mathematischen Optimierungsmodellen und der GIS- und lokalen Sensorsystemen werden von Planungs-Software verwendet. Diese Planungssysteme unterteilen sich in automatische Steuerungssysteme und semi-automatische Entscheidungshilfen sowie Planungsanwendungen.

Die Kapitel stellen exemplarisch Arbeiten vor um so einen Überblick über die aktuelle Forschung zu geben.



---

# Datenmodellierung

---

Dieses Kapitel stellt Arbeiten deren Grundlagen vor wie Daten für Optimierungsprobleme modelliert werden müssen. Das Kapitel unterteilt sich in zwei Unterkapitel, bei dem eines sich mit der mathematischen Modellfindung und das andere mit der Modellierung innerhalb von Software beschäftigt.

## 2.1 Datenmodelle zur Effizienzberechnung

Die Basis für eine jede Optimierung ist es Kennzahlen zu ermitteln die es ermöglichen die Effizienz vor und nach der Optimierung zu vergleichen. Das bedeutet, dass der Einsatz von gewissen Mitteln und deren Ertrag gemessen wird.

In der Literatur werden zwei verschiedene Modellierungsklassen zur Effizienzanalyse empfohlen: [12] [20]

- *Data Envelopment Analysis*, kurz DEA
- *Stochastische Frontier Analyse*, kurz SFA

### Data Envelopment Analysis

DEA ist eine parameterlose Methode um die Effizienz von so genannten *Decision Making Units*, kurz DMUs, zu messen. Eine DMU kann einen oder mehrere Eingaben erwarten und kann einen oder mehrere Ausgabewerte besitzen. Um die Effizienz zu messen, wird eine einzige *virtuelle* Eingabe auf eine einzige *virtuelle* Ausgabe abgebildet ohne eine vordefinierte Produktionsfunktion zu erstellen. [11]

Sei  $x_k = (x_{1k}, x_{2k}, \dots, x_{Mk}) \in R_+^M$  um die Ausgabewerte  $y_k = (y_{1k}, y_{2k}, \dots, y_{Nk}) \in R_+^M$  zu produzieren. Dann bilden die Zeilenvektoren  $x_k$  und  $y_k$  die Datenmatrizen  $X$  bzw.  $Y$ . Zusätzlich sei  $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_K) \in R_+^K$  ein positiver Vektor der die lineare Kombination aus  $K$  Firmen. Als letzte zu definierende Größe sei  $e = (1, 1, \dots, 1)$  ein passend dimensionierter Vektor von Einheitsgrößen. [11]

Das ausgabeorientierte DEA-Modell maximiert die proportionale Steigerung der Ausgabe unter der Bedingung dass der Produktionsraum nicht verlassen wird. Ein ausgabenorientiertes Messproblem kann als eine Reihe von  $K$  linearer Programmierungsprobleme abgebildet werden. [11]. Für DEA gibt es mehrere Modelle wie das Verhältnis zu Eingabe/Ausgabe skalieren kann. Zwei verwendete Varianten sind DEA-CCR, nach Charnes, und DEA-BCC, nach Bankes. DEA-CCR beschreibt im Gegensatz zu DEA-BCC Modelle in denen sich Eingabewerte zu Ausgabewerte proportional verändern. Die nötigen *Constraints* für das Lineare Programmieren werden durch beschrieben.

$$\max_{U, \lambda} U \quad (2.1)$$

$$\text{Maximiert } U'_{y_k} - Y' \lambda \leq 0 \quad (2.2)$$

$$X'_{y_k} \lambda - x'_k \leq 0 \quad (2.3)$$

$$x'_k \geq 0 \text{ (DEA-CCR)} \quad (2.4)$$

$$e\lambda' = 1 \text{ (DEA-BCC)} \quad (2.5)$$

Die ausgabeorientierte Messung der technischen Effizienz der k-ten DMU, bezeichnet als  $TE_k$ , kann so berechnet werden:

$$TE_k = \frac{1}{U_k} \quad (2.6)$$

Eine weitere Kennzahl die mit DEA-CCR(2.4) bzw. DEA-BCC(2.5) berechnet werden kann ist die Skalierungseffizienz  $SE_k$ :

$$SE_k = \frac{U_{CCR_k}}{U_{BCC_k}} \quad (2.7)$$

In *Cost Efficiency and Farm Self-selection in Precision Farming: The Case of Czech Wheat Production* [12] wird eine zweistufige Berechnung von Effizienzmodellen vorgeschlagen. Dazu wird im ersten Schritt eine DEA durchgeführt. Das resultierende DEA ist definiert als:

$$\min_{\lambda, x_{ic}} (p'_i x_{ci}) \quad (2.8)$$

$$st \quad -y_i + Y\lambda \leq 0, \quad (2.9)$$

$$x_{ci} - X\lambda \leq 0, \quad (2.10)$$

$$\lambda \leq 0. \quad (2.11)$$

Es wird zusätzlich vorgeschlagen, die daraus abgeleitete Betriebseffizienzbewertungen mittels *Endogenous Switching Regression* zu analysieren.

Blancard und Martin weisen in [7] darauf hin, dass die Messungen der verbauten Energie Schwankungen und Unsicherheiten unterworfen ist. Deshalb schlagen sie in der selben Arbeit ein auf DEA basierendes Modell vor, um diese Unsicherheiten bei der Berechnung der Energieeffizienz mit ein zu beziehen um robuste Ergebnisse zu erhalten.

Der Ansatz basiert darauf, dass eine sg. *Assurance Region*, kurz AR, gefunden wird die eine pessimistische und eine optimistische Grenze fest legt. Diese Grenze wird für jede DMU durch den wünschenswertesten bzw. am wenigsten wünschenswertesten (*least favourable*) errechneten Energieverbrauch (*energy content scenario*) definiert. [7]

## Stochastische Frontier Analysis

Im Gegensatz zu DEA, nimmt SFA an, dass es eine Funktion mit einem oder mehreren Parametern gibt, die die Produktionseingabewerte auf die Ausgabewerte abbilden kann. Zusätzlich hat SFA den großen Vorteil, dass die Funktionen so gestaltet werden können, dass nicht nur technische (In-)Effizienz den Ausgabewert beeinflusst sondern auch Ereignisse außerhalb des Einflussbereichs des Produzenten. Dementsprechend besteht der Fehlerterm in SFA aus zwei Komponenten:

- Eine einseitige Komponente die, die Effekte von Ineffizienz relative zur stochastischen Marke (*stochastic frontier*) einfängt.
- Eine symmetrische Komponente die es erlaubt eine zufällige Variation der Marken (*frontiers*) über Firmen hinweg abzubilden und so die Effekte von Messfehlern, anderem statistischem Rauschen und zufälligen Schocks außerhalb der Firmenkontrolle einzufangen.

Daraus folgt, dass eine SFA als Gleichung abgebildet werden kann in der die Effizienz der Firma  $k$  als  $U_k$  bezeichnet wird, wobei  $U_k$  positiv sein muss. Die oben angesprochene Komponente, die das statistische Rauschen einfängt, wird als  $V_k$  bezeichnet, wobei  $V_k$  sowohl negativ wie positiv sein kann. [11]

$$y_k = f(x_1k, x_2k, \dots, x_Mk, U_k, V_k) \quad (2.12)$$

Um solche SFAs zu lösen, muss zu erst ein stochastisches Frontier-Modell definiert werden. Diese beruhen auf Werten die mittels Maximum-Likelihood-Methode geschätzt wurden.

In [20] wird ein Modell vorgeschlagen, welches dazu verwendet wurde die Effizienz der Landwirtschaftsbetriebe in Neuseeland zu ermitteln. Die Kostenfunktion wurde aufgrund von gemessenen Betriebskosten, Eingabepreise und Ausgabemengen geschätzt. Die allgemeine Form des *Cost Frontier Model* kann wie folgt beschrieben werden:

$$c_{it} \geq c(w_{1it}, w_{2it}, \dots, w_{Kit}, y_{it}; \beta) \quad i = 1, 2, \dots, N; t = 1, 2, \dots, T \quad (2.13)$$

Dabei sind  $c_{it}$  die beobachteten Kosten der Firma  $i$  in der Periode  $t$ ,  $w_{kit}$  ist der  $k$ -te Eingabepreis,  $y_{it}$  ist das Output-Volumen und  $\beta$  ist ein Vektor der technische Parameter abbildet welche die Relationen zwischen Eingabepreisen, Ausgabe und minimalen Produktionskosten beschreibt. Die Kostenfunktion  $c(\cdot)$  muss als Kosten minimierende Funktion folgende Eigenschaften besitzen:

- Sie muss nicht-negativ sein.
- Eingabepreise und Output muss monoton steigend sein
- Muss homogen der Stufe 1 sein
- Konkav betreffend Eingabepreisen

Um Messfehler und Umwelteinflüsse die außerhalb der Kontrolle des Landwirts liegen mit einzubeziehen wird die Funktion wie folgt geschrieben:

$$c_{it} \geq c(w_{1it}, w_{2it}, \dots, w_{Kit}, y_{it}; \beta) \exp\{v_{it}\} \quad (2.14)$$

$v_{it}$  ist eine unabhängige Fehlerverteilungskomponente welche das statistische Rauschen abbildet. Dafür wird eine Standardnormalverteilung mit einem 0-Median und einer konstanten Varianz  $\sigma_v^2$  vorgeschlagen. Durch Ineffizienzfaktoren im Betrieb können die tatsächlichen Kosten über den statistischen Minimumkosten liegen, dass sich folgende Formel ergibt:

$$c_{it} = c(w_{1it}, w_{2it}, \dots, w_{Kit}, y_{it}; \beta) \exp\{v_{it} + u_{it}\} \quad (2.15)$$

$u_{it}$  ist eine nicht negative, Erzeugerineffizienzterm der bestimmten Verteilungsannahmen entspricht. Wenn eine Firma 100% effizient ist, wird der Ineffizienzterm 0 sein und die Firma arbeitet entsprechend der stochastischen Kostengrenze.

Für die Kosteneffizienz kann die folgende Formel gefunden werden:

$$CE_{it} = \frac{c(w_{1it}, w_{2it}, \dots, w_{Kit}, y_{it}; \beta) \exp\{v_{it}\}}{c(w_{1it}, w_{2it}, \dots, w_{Kit}, y_{it}; \beta) \exp\{v_{it}\} \exp\{u_{it}\}} \quad (2.16)$$

Fehlenden Parameter können mittels *Maximum Likelihood* geschätzt werden. Erzeugerspezifische  $CE$  können mittels folgender Formel ermittelt werden: [20]

$$CE_{it} = E[\exp(-u_{it}) \mid v_{it} + u_{it}] \quad (2.17)$$

## Energieeffizienz-Modelling Frameworks

In [32] stellen Meyer-Aurich, Balafoutis und Daalgard ein Framework vor, dass zum Ermitteln der Energieeffizienz von eingesetzten Technologien verschiedener Nationen in Europa entwickelt wurde.

Um die jeweiligen Betriebe vergleichbar zu machen, wurden drei Kennzahlen aus den eingesetzten Technologien abgeleitet.

- *Final Energy Consumption*, kurz FEC, bezeichnet den Energieverbrauch des Endkunden unabhängig vom Energieeinsatz.
- *Primary Energy Consumption*, kurz PEC, bezeichnet den Energieverbrauch der ohne jegliche Transformation zwischen Energiequelle und Verbraucher auftritt.
- Das Volumen der für die Produktion nötigen Güter.

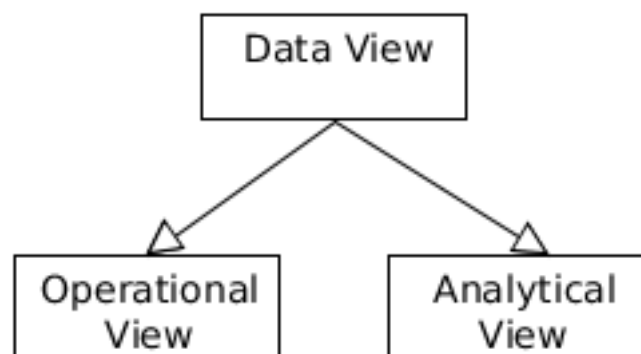
Die Umrechnungsfaktoren in der Arbeit der Eingabevolumina stammen hauptsächlich aus dem BioGrace-Projekt. [32] Bei dem BioGrace-Projekt handelt es sich um eine Initiative um die Berechnung des Ausstoßes von Treibhausgasen zu harmonisieren.

Die resultierenden Kennzahlen zeigen verschiedene Punkte auf. Innerhalb der Betriebe die Viehzucht betreiben, liegt der Fokus zur Steigerung der Energieeffizienz auf der optimierten Fütterung der Tiere. Bei Betrieben die Pflanzen anbauen, liegt der Fokus auf optimiertem Einsatz von Düngemittel. Die Empfehlung des Autors ist in Betrieben *PA* einzuführen bzw. zu verstärken, da simple Messverfahren den Düngemiteleinsatz signifikant reduzieren können. [32]

## 2.2 Sichten von Datenmodellen

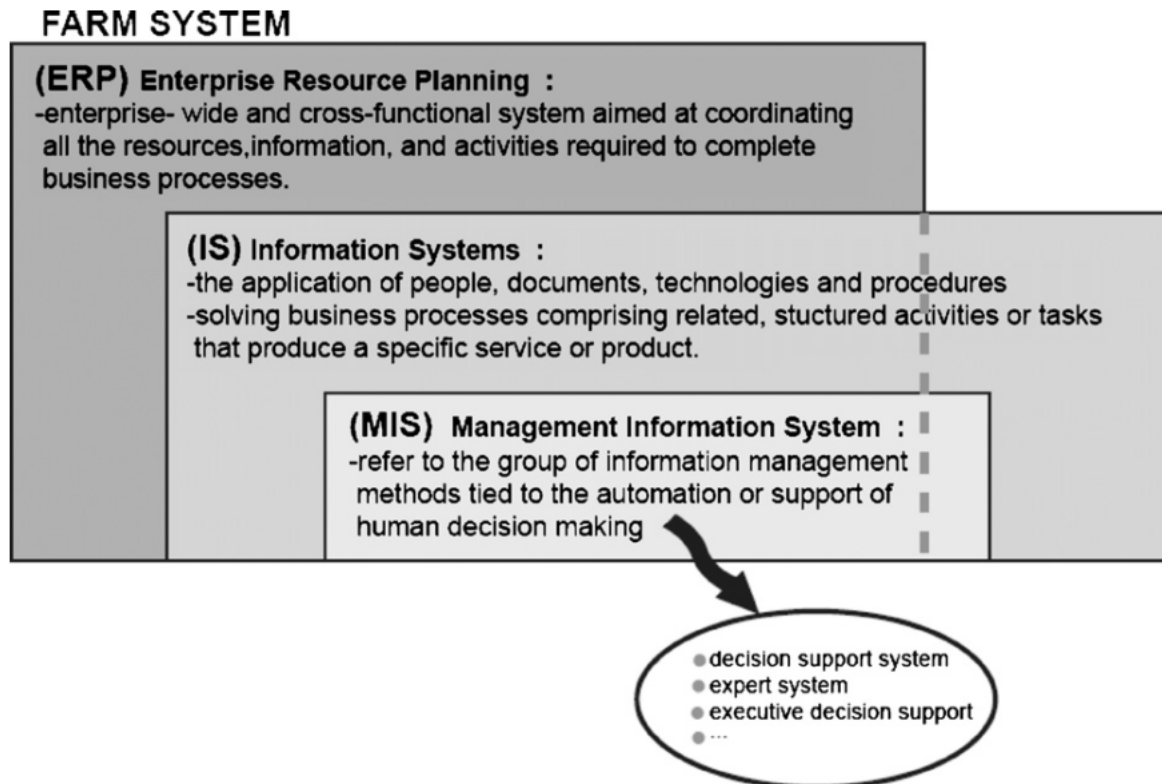
Das Modellieren effizienter Datenmodelle spielt in verschiedenen Arten von ICTs eine Rolle. Im folgenden Kapitel wird auf die für Planungs- und Designsysteme relevanten Modellierungen eingegangen. Es wird nicht auf andere Bereiche eingegangen in der Datenmodellierung eine Rolle spielt. Zum Beispiel wäre die Modellierung von Datenstrukturen und Protokollen die erlauben die Daten energiesparend zu verarbeiten, wie es unter anderem in einem Paper von Gang [30] vorgestellt wurde.

Für Planungs- und Designsysteme dienen dazu, die Betriebswirte in der Bewältigung von Problemen und der langfristigen Planung zu unterstützen. Diese Aufgabe werden in [42] in kurzfristige sowie langfristige Planung aufgeteilt. Da sich die Aufgaben und die möglichen Aktionen unterscheiden, wird vorgeschlagen diese auf verschiedene Arten zu modellieren. Dabei werden die kurzfristigen Aktionen in der operationalen Sicht, der *Operational View*, und die langfristigen Aktionen in der analytischen Sicht, der *Analytical View*, behandelt. Siehe 2.2



**Figure 2.1:** Sicht auf Daten. Operational View als Informationsquelle für taktische und Analytical View als Informationsquelle für strategische Entscheidungen.

Sørensen, Fountas und Nash stellen in [44] ein Modell für *Farming Management Information System* kurz FMIS vor. Dies soll als Basis für Planungssysteme wie es aus anderen Branchen als ERP bekannt ist eingesetzt werden. Sørensen beschreibt dies als drei aufeinander aufbauende Systeme, siehe 4.2.



**Figure 2.2:** Konzept eines Management Information Systems. [44]

Neben diesen Sichtweisen die für die Entscheidungen im Betrieb wichtig sind, gehen Ruiz-Garcia, Steinberger und Rothmund in [40] auf die Modellierung von Daten, Protokollen und Systemen ein, die es erlauben die Verarbeitung der Produkte in allen Schritten der Versorgungskette automatisch überwachen zu lassen. Dies dient dazu, den strenger werdenden gesetzlichen Bestimmungen (z.B. der ISO 22005 Standard zur Rückverfolgbarkeit der Lebensmittelbestandteile oder den EU Verordnungen Nr. 178/2002 bzw. Nr. 1935/2004) genügen zu können, ohne die Überprüfungen jedes Lieferanten manuell durchführen zu müssen.

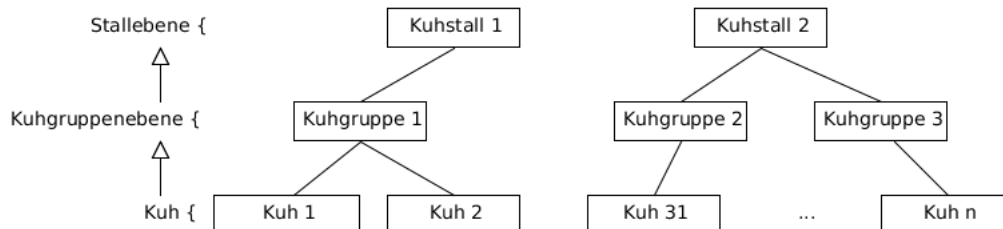
## Operationale Sicht

Die operationale Sicht dient dazu Entscheidungen in und für Geschäftsprozesse zu erleichtern bzw. zu ermöglichen. Unternehmerische Geschäftsprozesse werden in [42] als Entscheidungen in einem begrenzten Zeitraum beschrieben. Dementsprechend ist es wichtig, dass die operationale Sicht vor allem Daten präsentiert die folgende Bedingungen erfüllen:

- Die Daten müssen so aufbereitet werden, dass sie innerhalb der Prozesse verfügbar sind. (*process-orientated data access*)
- Die Daten müssen aktuell und detailliert sein.
- Die Daten müssen Zustände beschreiben. Zustände sollten lt. [42] als Menge von Attributen und Relationen zu anderen Zuständen definiert werden.

## Analytische Sicht

Die analytische Sicht auf die bestehenden Daten leitet sich aus Messungen über einen bestimmten Zeitraum hinweg ab. Als Messungen sind Ergebnisse von bestimmten Berechnungen auf Klassifizierungsebene innerhalb der verfügbaren Datenbasis. In anderen Worten, geht es darum Aggregationen auf Relationen innerhalb von relevanten Ressourcen im Betrieb durchzuführen. Schulze macht dies am Beispiel eines Rinderzuchtsbetriebs für die Milchproduktion deutlich. Dabei werden Informationen über drei Ebenen hinweg aggregiert. So stellt die Sicht auf Ebene der Ställe andere Informationen als auf Ebene der einzelnen Kühe zur Verfügung. Siehe Abbildung 2.2.



**Figure 2.3:** Klassifizierungsschema eines Milcherzeugungsbetriebs.

Dadurch wird die analytische Sicht im Unterschied zur operationalen Sicht, durch folgende Eigenschaften definiert:

- Die analytische Sicht enthält historische Daten.
- Die analytische Sicht versucht verschiedene Datenquellen zu integrieren und ein Gesamtbild zu generieren.
- Die Daten werden ständig aggregiert und damit wiederverwendet.

Multidimensionale Daten können in Form von OLAP-Würfeln visualisiert werden.2.2

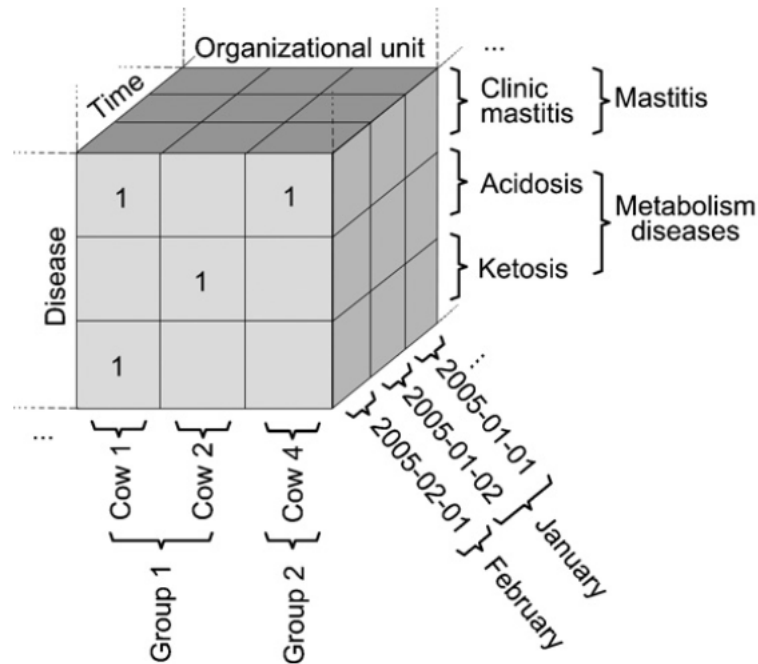
Für die Speicherung und Verarbeitung von solch strukturierten Daten gibt es mehrere Ansätze. Die Daten können entweder getrennt gespeichert und verarbeitet werden in Form der Separierung in OLAP- und OLTP-System, oder zusammen geführt werden um die Auswertung auf aktuelleren Daten zu erlauben. Kemper stellt in [22] *HyPer* vor.

## 2.3 Entwurf von Datenmodellen

Das Planen, Entwerfen und Erstellen von Datenmodellen ist ein Prozess, der im Zusammenspiel von Domänenexperten und Datenmodellierungsexperten durchgeführt werden muss. Sowohl Sørensen wie Schulze schlagen einen strukturierten Ansatz vor, der bei der Bestandsaufnahme der Akteure und Ressourcen beginnt und bei der Abbildung der verschiedenen Dimensionen und Relationen endet. [42] [44]

Dem oder der Expertin für Datenmodellierung wird nicht nur abverlangt die Relationen und Attribute in den verschiedenen Dimensionen formal abbilden zu können, sondern die Prozesse auch zu identifizieren um sie beschreiben zu können. Burkhart, Wolter, Schief, Di Valentin, Werth, Loos und Vaderhaeghen empfehlen eine Ontologie zu entwerfen, stellten aber gleichzeitig fest, dass es noch keine Methode gibt, die zufriedenstellend anleitet. [8]

Sørensen hat in [44] einen stark von der *Soft Systems Methodology*, kurz SSM, beeinflussten Ansatz gewählt. SSM wurde entwickelt um praktische Erfahrungen systematisch in Erkenntnisse umzuwandeln. [10]. Diese Erkenntnisse müssen in Prozessen abgebildet werden. In Sørensens Versuch wurden in der Analysephase mit den Landwirten folgende Fragen geklärt:



**Figure 2.4:** Darstellung der Daten eines Milcherzeugungsbetriebs in Form eines OLAP Würfels. [42]

- Welche Akteure außerhalb des Betriebs müssen modelliert werden? (z.B. Behörden, Lieferanten, etc.)
- Welche Abläufe funktionieren gut im Betrieb? Wie funktionieren diese?
- Welche Abläufe funktionieren nicht zufriedenstellend? Wie funktionieren diese? Was würde der Landwirt bzw. die Landwirtin gerne daran ändern?
- Welche Informationen werden für die Arbeit benötigt bzw. wie könnten diese aufbereitet werden um die Arbeit zu erleichtern?

Neben solchen Hardfacts sind Softfacts wichtig um während der Analyse ein annähernd vollständiges Bild (*rich picture*) der abzubildenden Realität zu erhalten. Dementsprechend werden die Informationen aufgezeichnet um Beziehungen, Verbindungen, Einflüsse zwischen den verschiedenen Entitäten abzubilden.

Um aus diesen Informationen sinnvolle Prozesse und Informationsquellen ableiten zu können, müssen die richtigen Fragen gestellt werden. SSM stellt eine Anleitung zur Verfügung der bei der Gestaltung helfen soll: *CATWOE*. *CATWOE* ist eine Sammlung von Aspekten die beachtet werden müssen:

- *C* Customers. Wessen Problem soll gelöst werden?
- *A* Actors. Wer sind die Akteure des Systems?
- *T* Transformation Process. Dies definiert was das System ausführt, wie es die Eingabe- in Ausgabewerte umwandelt, wohin Ausgabewerte geschoben werden, welche Stadien und Schritte in diesem System existieren.
- *W* World View. Die Weltanschauung definiert in welchem Kontext das System eingebettet ist. Was bedeutet es wenn das System ausgeführt wird? Was bedeutet eine Fehlfunktion oder ein Ausfall?
- *O* Owners. Definiert Personen die, die formale Macht haben über Einführung oder Ablehnung des Systems haben.

- *E Environmental constraints.* Definiert welche Grenzen dem System gesetzt sind, egal ob es sich um ethische, juristische, personeller oder Grenzen anderer Natur handelt.

Schulz schlägt vor, zur Modellierung der Daten auf ein erweitertes *Entity Relationship Modell*, kurz ER-Modell zurück zu greifen und hat dies exemplarisch vorgeführt.



---

# Sensorsysteme

---

Energieeffizienzsteigerung ohne Sensorsysteme ist undenkbar. Dieses Kapitel stellt mehrere Arbeiten vor die sich auf die zwei Hauptformen der Datenerfassungssysteme für Landwirtschaftsplanungssysteme:

- Sensornetzwerke
- GIS-Systeme

Dafür werden Arbeiten vorgestellt die sich mit der Effizienz der Sensornetzwerkssysteme sowie mit den effizientesten Netzwerktopologien beschäftigen.

Anschließend werden Grundbegriffe der Geoinformatik erläutert und Arbeiten aus diesem Fachgebiet die mit Energieeffizienz in der Landwirtschaft in Beziehung stehen vorgestellt.

### 3.1 Sensornetzwerke als Datenquellen

Sensortechnologie wurden im Laufe des AGREE-Projekts zum wichtigsten Forschungsgebiet in der zu zukünftigen Zusammenarbeit gewählt. [33] Sensornetzwerke sind Netzwerke aus Knoten die folgende bestimmte Funktionen verfügen bzw. folgende Bestandteile haben:

- Sensoren um verschiedene Umweltparameter messen zu können. (z.B. Luftdruck, Luftfeuchtigkeit, Zusammensetzung der Gase in Umgebungsluft, Helligkeit, etc.)
- Rechenmodule um bestimmte Kalkulationen durchzuführen um z.B. Sensorenwerte auszuwerten.
- Kommunikationsmodule um entweder Messungen oder (Teil-)Ergebnisse von Kalkulationen zu übermitteln. (z.B. ZigBee, Wireless Lan, etc.)

Wenn diese Funktionen um ein Modul zur Fortbewegung des Knotens erweitert wird, handelt es sich um einen mobilen Sensornetzwerkknoten. [16]

Die Sensormodule können je nach Einsatzzweck sowohl in kleinen, gut zu kontrollierenden Bereichen wie z.B. Glashäusern eingesetzt werden, in großflächigen Feldern oder in Ställen in der Viehhaltung. Dies ist eine notwendige Basis für sg. *Context Aware Computing*-Anlagen die bestimmte Umweltparameter wie z.B. Licht, Nahrung oder Bewässerung steuern können.

Energieeffizienz spielt für Sensorknoten im Falle von Einsätzen auf großflächigen Feldern eine besondere Rolle, da hier der Einsatz von Batterien bzw. Akkumulatoren eine Notwendigkeit ist und die Wartung bzw. das Austauschen oder Aufladen aufwendig.

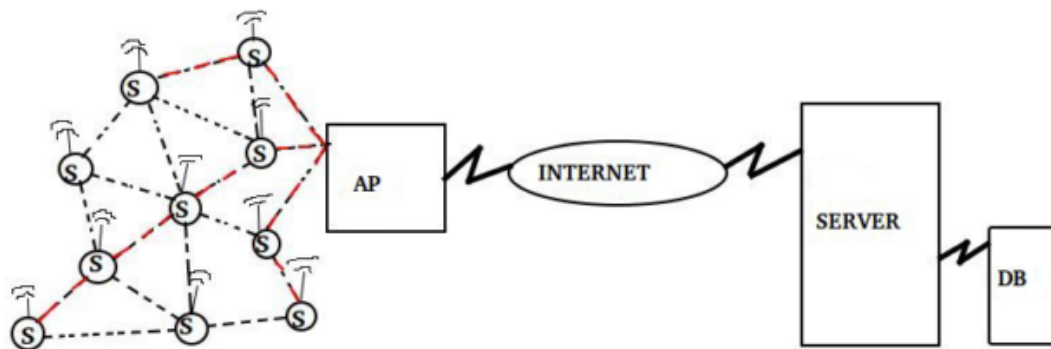
In [57] werden drei *Media Access Control*-Protokolle, kurz MAC, vorgestellt (ECR-MAC, EECR-MAC, EQR-MAC) die für den Einsatz für Adhoc-Sensornetzwerke konzipiert wurden. In [19] werden Optimierung sowohl was das Netzwerkprotokoll bis hin zum Physical Layer betrifft vorgestellt aber auch was den Energiehaushalt des Knoten betrifft. Dabei wird eine Lebenszeit von mehreren Jahren für einen Knoten erreicht.

In [34] wird eine Beispiel-Implementierung eines Sensor-Netzwerks zur optimalen Wasserversorgung vorgestellt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis dass sowohl der Ernteertrag gesteigert werden konnte sowie Wasser-, Energie- und Arbeitsaufwand gemindert werden konnten.

Bhargava untersucht in [6] wie das Netzwerk am effizientesten aufgebaut werden kann und geht auf die Auswertung der gemessenen Daten ein. Er unterscheidet grob zwischen zwei Architekturen:

- Die sg. *Two-Tier-Architecture*
- Einem *Peer to Peer Netzwerk* kurz P2P

Die Two-Tier-Architektur, siehe Abbildung 3.1, ist die Aufteilung von Sensor-Netzwerk und Intelligenz. Dabei sind die Tiers durch das Internet verbunden was die Auswertung in Cloud-Services erlauben würde. Neben dem Vorteil die Auswertung aus dem Betrieb auslagern zu können, erlaubt diese Aufteilung die Knoten langlebiger betreiben zu können. Der Autor stellt fest, dass auf den Sensorknoten eine jede Berechnung auf Kosten der verfügbaren Akkuleistung geht. [6]



**Figure 3.1:** Vorgeschlagene Two-Tier-Architektur [6]

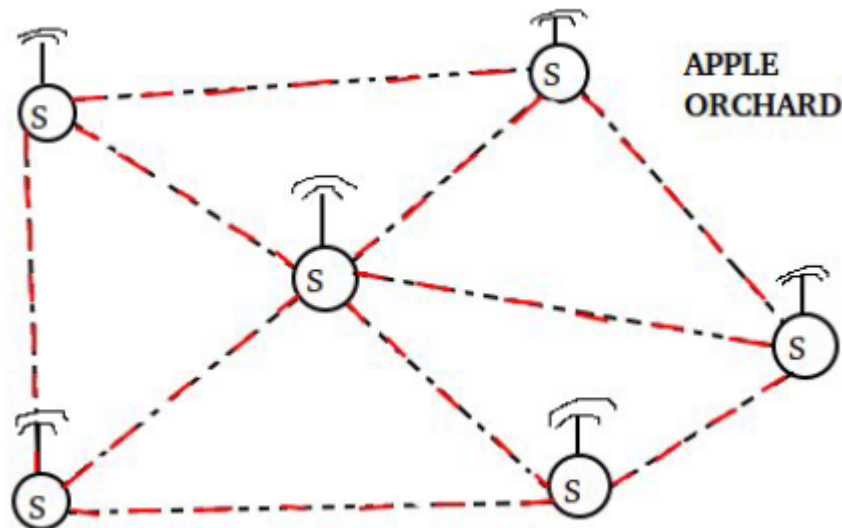
Im Gegensatz dazu, werden die gemessenen Daten in der P2P-Architektur (dargestellt in Abbildung 3.1) im Netzwerk ausgewertet. Dies hat im Vergleich zur Two-Tier-Architektur Nachteile:

- Die Lebensdauer der verwendete Energiequelle leidet darunter und ist früher erschöpft.
- Es können durch die begrenzte Leistungsfähigkeit der verfügbaren Chips auf den Sensorknoten nur triviale Auswertungen durchgeführt werden.
- Je nach Einsatzgebiet (z.B. in gebirgigen Landschaften), kann die Verfügbarkeit der Daten nicht garantiert werden. Dies könnte bei einem Alarm dazu führen, dass dieser zu spät gemeldet werden kann.

Aus diesen Gründen spricht Bhargava die Empfehlung aus, die Auswertung auf einen Server welcher über das Internet erreichbar ist auszulagern.

In [45] wird ein Sensornetzwerk für ein Paradeiserglashaus entworfen. Die verwendeten Sensoren maßen die Temperatur, Erdfeuchtigkeit und pH-Wert der Erde. Im Unterschied zu Bhargava wurde ein Gossip-Protokoll zur Kommunikation innerhalb des Sensornetzwerks verwendet.

Gossip-Protokolle sind definiert durch eine Netzwerktopologie ohne Superknoten. Die einzelnen Knoten besitzen einen lokalen Zustand der im Netzwerk mittels Broadcasts in definierten Abständen mitgeteilt wird. Dies hat zur Folge, dass einzelne Knoten ohne Aufwand hinzugefügt oder entfernt werden können. Dieses Vorgehen hat Vorteile da keine Superknoten benötigt werden die das Routing



**Figure 3.2:** P2P-Struktur des Sensornetzwerks [6]

übernehmen, ist energieaufwendig. Die Energieaufnahme versucht Pazurkiewicz in [37] mit seinem NarrowCast-Protokoll zu mindern.

Srbínovska und seine Kollegen haben sich für ein Gossip-Protokoll in ihrem Testaufbau entschieden, da für das System ein Temperaturdurchschnittswert interessant ist. Durch die Broadcasts der jeweilig lokal gemessenen Temperaturen wurden lokal auf den Knoten die Durchschnittswerte errechnet und gespeichert. Im Experiment wurde fest gestellt, dass die Durchschnittswerte der einzelnen Knoten annähernd dem tatsächlichen Wert entsprach. Dies dauerte zwischen 15 und 20 Broadcasts. [45]

Die Autoren kamen abschließend zu dem Ergebnis, dass bei der Planung auf mehrere Aspekte geachtet werden muss. [45]

- Auswahl des effizientesten Frequenzbereichs für die Funkverbindung. Die Frequenz der WiFi-Transmitter ist entscheidend für die Energieeffizienz der Sensor-Knoten.
- Die Preise der verfügbaren Hardware-Module ist zu hoch.
- Vor dem Ausrollen solcher Sensornetzwerke in großen Anlagen, müssen weitere Pilotprojekte durchgeführt werden um den Erfolg nicht zu gefährden.

Neben den erwähnten Sensoren wird in [39] ein System vorgestellt, dass in der Lage ist auf Basis von Bilddaten Entscheidungen zu treffen. Die Auswertung setzt qualitativ hochwertige Bilder als Basis voraus. Die Bewertung und Planung der Aktionen wird von einem Expertensystem durchgeführt.

## 3.2 Satellitensysteme als Datenquellen

Geoinformationssysteme, sind Informationssysteme die Lageinformationen verarbeiten, aufbereiten und bereitstellen. In der Literatur wird zwischen vier verschiedenen Definitionen unterschieden: [9]

- *Raumbezogene Informationssysteme*, kurz RIS, sind laut [?] geordnete Sammlungen von Informationen, in welchen Lagenangaben in einem einheitlichen Bezugssystem eine Verknüpfung zwischen den enthaltenen Daten und der Umwelt ermöglichen.

- *Geographisches Informationssystem*, kurz GIS, ist ein Informationssystem das raumbezogene Daten über Atmosphäre, Erdoberfläche, Lithosphäre enthält. Zusätzlich ermöglicht ein GIS die systematische Erfassung, Aktualisierung, Verarbeitung und Umsetzung der Daten auf der Grundlage eines einheitlichen räumlichen Bezugssystems.
- *Landinformationssysteme*, kurz LIS, sind Informationssysteme die bei Fragen in der Verwaltung, Wirtschaft oder Rechtsproblemen Auskünfte geben können.
- *Geoinformationssysteme*, kurz ebenfalls GIS, sind rechnergestützte Systeme die aus Hardware, Software, Daten und der Anwendung bestehen. Diese Systeme können genutzt werden raumbezogene Daten digital zu erfassen, modellieren, reorganisieren, analysieren und alphanumerisch und graphisch präsentieren können.

Die vorgestellten Publikationen verwenden die vierte Definition.

## Kennzahlen in GI-Systemen

In [48] gibt Vibhute einen Überblick über verwendete Sensortechnologien und Kennzahlen die zur Auswertung heran gezogen werden können.

### Landnutzungseffizienz

Um zu ermitteln wie effizient der verfügbare Platz genutzt wird kann das Verhältnis von *Land Use* zu *Land Cover* heran gezogen werden. Land Cover ist die Kennzahl die beschreibt wie viel der Erdoberfläche von Material bedeckt ist. Dazu zählen Gras, Asphalt, Bäume, etc. Demgegenüber steht Land Use, was definiert wie viel der Erdoberfläche vom Menschen genutzt wird.

Die Rohdaten werden aus Satellitenbildern gewonnen. Die Elemente in den Bildern können mit verschiedenen Klassifizern zu Land Use bzw. Land Cover zugeordnet werden. Vibhute stellt Varianten in [48] vor. (z.B. Maximum-Likelihood-Classifer, Supervised Classifier, etc.)

### Vegetationsindizes

Vegetationsindizes sind Kennzahlen die aus Messungen von elektromagnetischer Strahlung um das infrarote Spektrum herum gewonnen werden. [18]

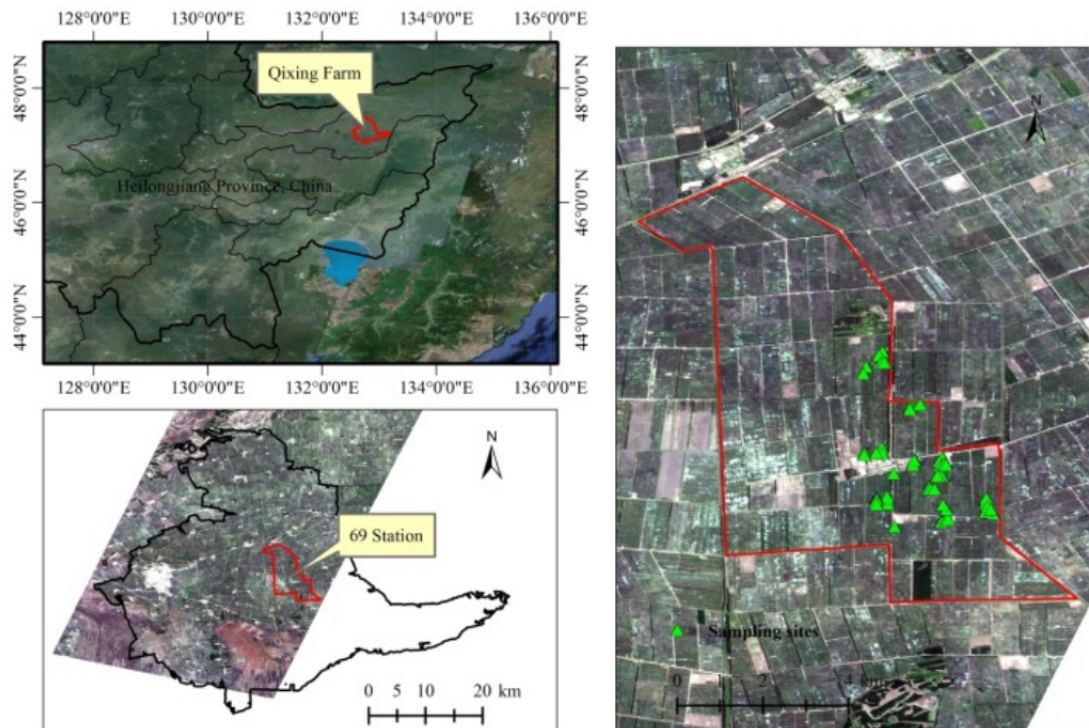
Vibhute stellt in [48] eine Tabelle 3.2 der verschiedenen Vegetationsindizes auf:

Vegetationsindex	Formel
RVI (Ratio Vegetation Index)	$RVI = \frac{NIR}{RED}$
NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)	$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED}$
NDWI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$NDWI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR}$
SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index)	$SAVI = \frac{(1+L)(NIR-RED)}{NIR+RED+L}$
TVI (Triangular Vegetation Index)	$TVI = \frac{120(NIR-GREEN)}{2} - 200(RED - GREEN)$
TNDVI (Transformed Normalized Difference Vegetation Index)	$TNDVI = \sqrt[2]{\frac{NIR-RED}{NIR+RED} + \frac{1}{2}}$

## Anwendungen von GIS-Technologien

In [17] wird eine auf Satellitenbildern aufbauende Analyse des Reisanbaus vorgeschlagen. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass zum einen die Gebiete nicht mit Sensorknoten bestückt werden müssen - was im Falle von Nassgebieten wie Reisfeldern weitere Probleme bereithält - und dass die lokalen Messinstrumente nur über längere Zeitperioden verlässliche Daten liefern.

In 3.2 wird das Gebiet in dem die Datenmessung untersucht wurde dargestellt.



**Figure 3.3:** Aufnahme des Gebiets dessen Umweltwerte gemessen wurden. [17]

In [36] gehen Omarova, Sennikov, Omarov und Kolbachaeva darauf ein wie großflächige Wetter und Landschaftsdaten genutzt werden können, den Ertrag von Zuckerrübenenernten zu steigern. Dazu modellieren sie die Pflanzen um die nötigen Mengen an Wasser errechnen zu können und dies mit der vorhandenen Infrastruktur bestmöglich zu paaren.

Daten aus GIS-System ermöglichen einen großflächigeren Blick als lokale Sensoren. Mit [15] wird gezeigt, dass dieser Ansatz dazu verwendet werden kann, die Produktionsunterschiede zwischen minderleistenden Gebieten und Gebieten mit hohem Ertrag zu ermitteln. Dies kann dazu genutzt werden die Prozesse in den minder leistenden Arealen zu erhöhen.

Der Stand der Forschung der Landschaftsanalyse und Modellierung wird in [54] zusammen gefasst.

GIS-Daten über Grenzen (seien es Betriebsgrenzen, nationale Grenzen, etc.) hinweg nutzen zu können, muss eine Möglichkeit gefunden werden die Zusammenarbeit zu strukturieren. Nyerges, Roderick und Avraam stellen in [35] ein Survey vor dass die aktuelle Forschung umreißt.

Neben den Satellitensystemen werden auch Flugzeuge zur Messung von Geodaten verwendet. In [14] wird ein Drohnenexperiment vorgestellt, welches optische Sensoren verwendet um Informationen über die Anbaufläche zu sammeln.

---

# Expertensysteme und Design Tools

---

Effizienzsteigerung durch ICTs bedeutet, dass Werkzeuge bei Entscheidungen die den Ort, die Zeit und die Versorgung der Pflanzen betreffen Hilfe leisten. Dieses Kapitel beschäftigt sich mit drei Themen die mit der Unterstützung bei Entscheidungshilfen zu tun haben.

Es werden Arbeiten über Expertensysteme in der Landwirtschaft vorgestellt die aus den verfügbaren Daten und Zielen Empfehlungen zur Erreichung abgeben. Zusätzlich wird das Konzept des Life Cycle Assessment vorgestellt, welches durch ICTs effizient möglich wurde.

Durch die sich entwickelnde Technologisierung in Schwellenländern entwickeln sich dort neue Modelle wie Kleinbauern in der Entscheidungsfindung unterstützt werden können. Dazu werden Arbeiten vorgestellt die sich mit den verfügbaren Lösungen, deren Nutzen und den Entwicklungsmöglichkeiten beschäftigen vorgestellt.

## 4.1 Automatisierte Entscheidungsfindung

Die ganzheitliche Planung von Landwirtschaftsbetrieben ist ein komplexes Problem das makroskopische sowie mikroskopische Faktoren einbeziehen muss. Ein früher Ansatz um alle Umwelteinflüsse zu bewerten und die Ergebnisse in einer Optimierung der Prozesse einfließen zu lassen, ist das LCA (Life Cycle Assessment). Dabei werden alle Einflüsse in den Lebenszyklusphasen des Produkts bzw. Services identifiziert. Das Ergebnis dieses Identifikationsprozesses wird *Inventory Table* genannt. Die identifizierten Bestände werden mittels *Life Cycle Inventory Impact Assessment*, kurz LCIA oder LCI, auf Zahlen abgebildet die widerspiegeln wie viel Einfluss die jeweiligen Faktoren haben. LCIA besteht aus vier Schritten: [24]

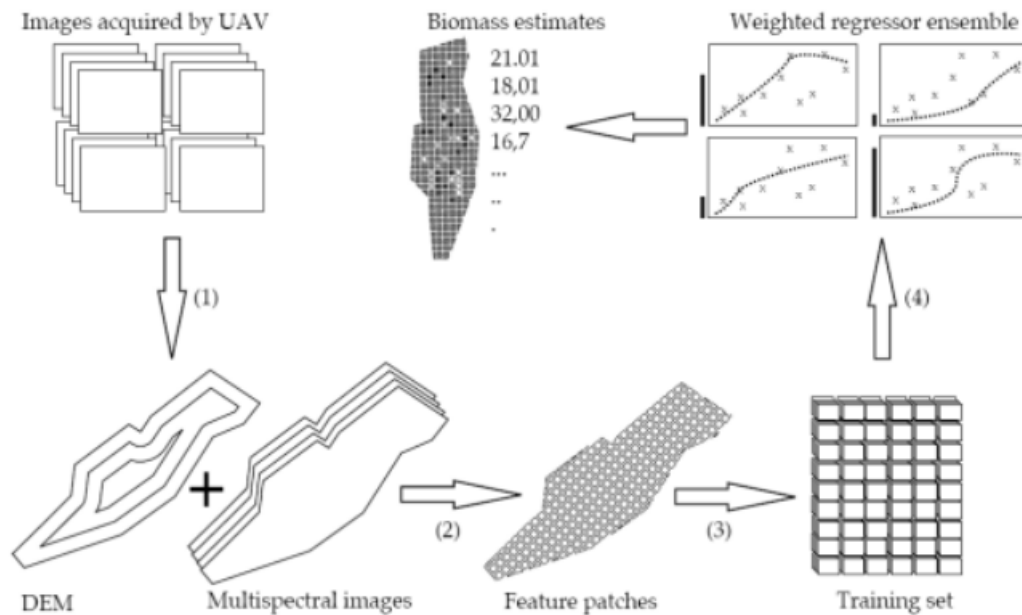
- *Klassifizierung*. Dazu werden die Eingabe- und Ausgabewerte die im *Inventory Table* definiert zusammen gefasst.
- *Charakterisierung*. Die im ersten Schritt zusammen gefassten Daten werden auf sg. *impact categories*, zu Deutsch Einflusskategorien, abgebildet. Z.B. Sonnenstunden auf Maisertrag.
- *Normalisierung*. Die in der Klassifizierung fest gestellten Einflusskategorien werden auf normalisierte Kategorien abgebildet. (Z.B. IPCC-Faktoren für Einflusskategorien der globalen Erwärmung.)
- *Bewertung*. In diesem Schritt werden die klassifizierten Kategorien auf ihre Einflussmöglichkeit auf die Qualität des Produkts bzw. Services bewertet.

LCA ist in dem ISO-Standard 14044 enthalten. [24]

Eine andere Sicht auf die Datenquellen liefern Wang und Pang in [49]. Sie stellen ein System zur Evaluierung der nötigen Informationen, die für Entscheidungen der Landwirtschaft in Qiqihar nötig sind



können um den Ertrag zu maximieren. Die Basis für das Modell sind meteorologische Daten, Vegetationskarten und vorhandene NPP-Daten. [55]



**Figure 4.2:** Hierarchie von Datenquellen zu Entscheidungsträgern. [49]

Das in [14] vorgestellte Drohnensystem basiert auf einem Algorithmus der vor Anwendung trainiert werden muss. Dieses Maschinlernen erlaubt den Einsatz von im Vergleich zu Satellitenfotos kostengünstigen Material und eine rasche Auswertung der Daten. Der Prozess wird in Abbildung 4.1 dargestellt.

## Entwicklungen in Schwellenländern

In der dritten Welt zeichnet sich durch die Verbreitung von Smartphones einer durch das Mobilfunknetz gestützte Schwarmintelligenz ab. Damit wird die Menge der Kontakte eines Bauers zu einem Orakel, dass zu den Themen Wetter, Ertrag und Best-Practices befragt werden können. [38] Die Bedeutung der Übertragung von Informationen für den Ertrag und damit der Effizienz wird in [46] untersucht. Das Ergebnis war, dass sowohl Internet wie Fernsehen und Radio zur Verfügung stehen. Interessant ist, dass in diesen Gebieten hauptsächlich Fernsehen- und Radioübertragung zur Verfügung stehen. Das Potential eine Schwarmintelligenz wie in [?] beschrieben aufzubauen ist vorhanden.

Die Entwicklung der Abdeckung des Mobilfunknetzes in Indien und die gestarteten Projekte zur Steigerung des Ertrags mittels Mobilfunkprojekten wird in [25] vorgestellt. Dabei werden Lösungen wie Krishi vorgestellt, welches es den Bauern ermöglichen soll per Telefonanruf Fragen bezüglich der Landwirtschaftsarbeit in normaler Sprache zu stellen.

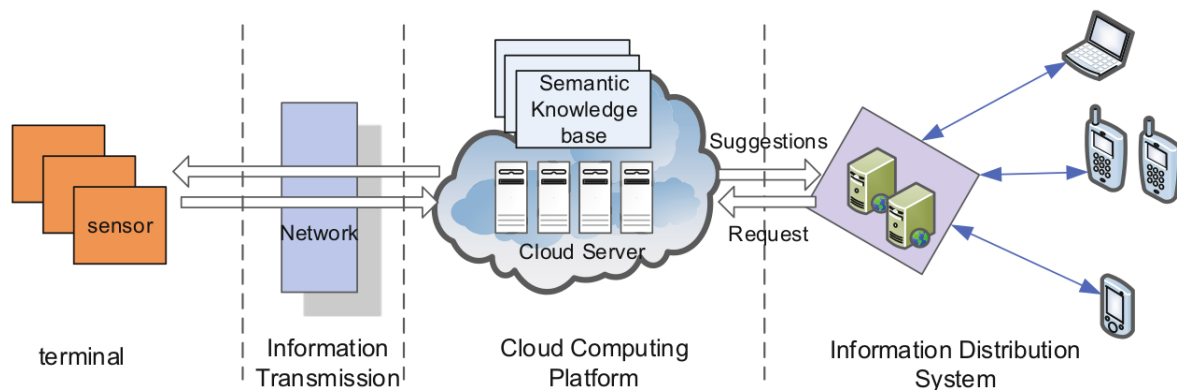
## 4.2 Expertensysteme in der Planung

Ein Expertensystem ist ein KI-Programm, dass zwei Rollen annehmen kann.

- *Decision Maker*, als Entscheidungsfinder ermittelt das Expertensystem die qualitativ beste Lösung für ein gegebenes Problem. Z.B. die Behandlung eines Patienten mit definierten Symptomen oder die optimale Bewässerung von Pflanzen.
- *Oracle*, in diesem Fall dient das Expertensystem als Entscheidungshilfe in dem es gestellte Fragen beantwortet.



Entscheidend für die Funktionalität des Expertensystems ist, dass ein Kausalmodell für die Problem-domäne gefunden wird, dieses zu einem quantitativen Entscheidungsmodell umgewandelt werden kann und daraus eine Entscheidung bzw. Antwort abgeleitet werden kann. [41]



**Figure 4.3:** Architektur der Cloud-basierten Entscheidungshilfe. [52]

Lin, Nan, Li, Dongming, Bi und Chunguang stellen in [27] eine mögliche Architektur für ein System vor, dass bei der Planung und Pflege von Mais helfen soll. Dabei stellen sie folgende Best-Practices vor:

- Die Systemarchitektur und die Verwendung müssen als UML-Diagramme abgebildet werden. (Use-Case-Diagramme, Aktivitätsdiagramme, etc.)
- Die Datenbankstruktur muss als ER-Diagramm abgebildet werden.
- Die nötigen Objekte sollen mit der *Object Definition Language*, kurz ODL, definiert werden.
- Die Verwendung der *Framework Representation* um die Hierarchie und damit Kausalität von bestimmten Eigenschaften und Ereignissen abzubilden. (Z.B. ist ein Teil-Frame des Zustands von Gras dessen Halmzustand oder eine Erkrankung Teil des Disaster-Frames.)

Das in [39] vorgestellte Expertensystem dient dazu, die grüne Färbung der Blätter zu bestimmen. Dies kann z.B. dazu genutzt werden um die Wasserversorgung bedarfsorientiert zu gewährleisten.

Um die Entscheidungsfindung besser in puncto Effizienz und Geschwindigkeit zu machen wird in [52] ein Cloud basiertes System vorgestellt.

Yuan, Zeng und Zhang stellen in ihrer Arbeit ein Expertensystem auf Basis eines Wissensbasierten System vor. Dabei werden Daten aus einem Sensornetzwerk als Ontologien abgebildet. Diese werden in der Cloud gespeichert. In der Cloud sitzt das Expertensystem, dass in der Lage ist Entscheidung zu treffen. Die Gesamtheit dieses Systems wird *Semantic Technology* genannt. [52]

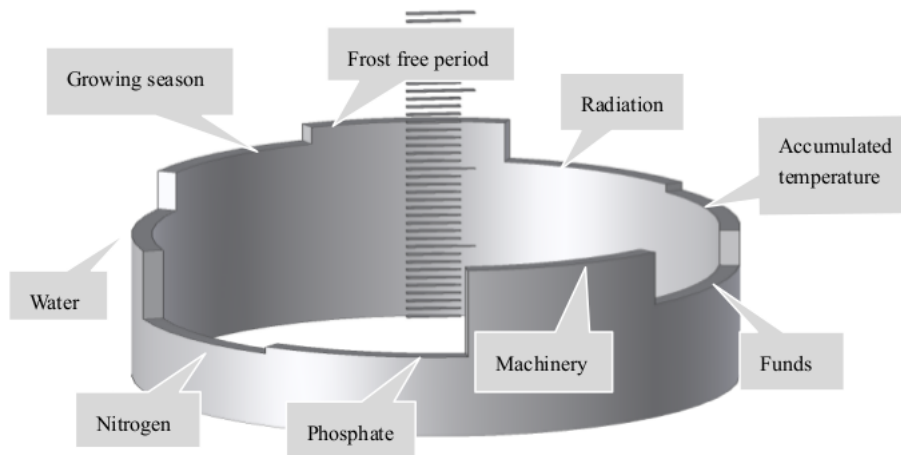
Semantic Technology, kurz ST, bezeichnet die Technologie die vorhandene Daten als Ontologien aufbereiten um automatisiert Entscheidung ableiten zu können. Die in [29] vorgestellte Architektur ST die ein Expertensystem und ein Sensornetzwerk verknüpft wird von Yuan, Zeng und Zhang wiederverwendet.

### 4.3 Planungswerkzeuge

Dieses Unterkapitel beschäftigt sich mit Systemen die bei der strategischen Planung und der kurzfristigen Entscheidungsfindung Unterstützung anbieten. Dazu werden exemplarisch Arbeiten vorgestellt für mittellose Kleinbetriebe und große industrielle Betriebe.

## DSS in der Landwirtschaft

DSS (Decision Support Systems) ist der Oberbegriff für Planungswerkzeuge die dazu dienen halbautomatisch Abläufe und Pläne zu optimieren. In [28] wird ein DSS vorgestellt, das mehrere Analysemodelle integriert und in dem Gebiet Xuchang evaluiert wurde.



**Figure 4.4:** Die verschiedenen Eingabewerte die im RADDSS berücksichtigt wurden.

Das RADSS (Regional Agriculture Decision Support System) nimmt finanzielle Rahmenbedingungen sowie die vorhandenen Wetterbedingungen, siehe Abbildung 4.3, zur Berechnung von Vorhersagen. Lt. Liu konnten damit Kosten verringert und der Ertrag gesteigert werden. Die Evaluierung der Ergebnisse wird dazu jährlich durchgeführt.

In [51] wird LandCaRe-DSS vorgestellt, ein DSS zur Optimierung von von Betrieben um auf Veränderungen des Wetters durch den Klimawandel zu reagieren. In dieser Arbeit zeigt Wenkel, dass an DSS geforscht wird die komplexe globale Verhältnisse in die Ergebnisfindung mit einbeziehen können und dass es notwendig ist, bessere Modelle für Umwelteinflüsse zu finden.

Dutta stellt in [13] ein DSS vor das auf einem Framework basiert dessen Lernalgorithmus mit verschiedenen Datenquellen arbeiten kann. Das Framework heißt i-EKbase (Intelligent Environmental Knowledgebase).

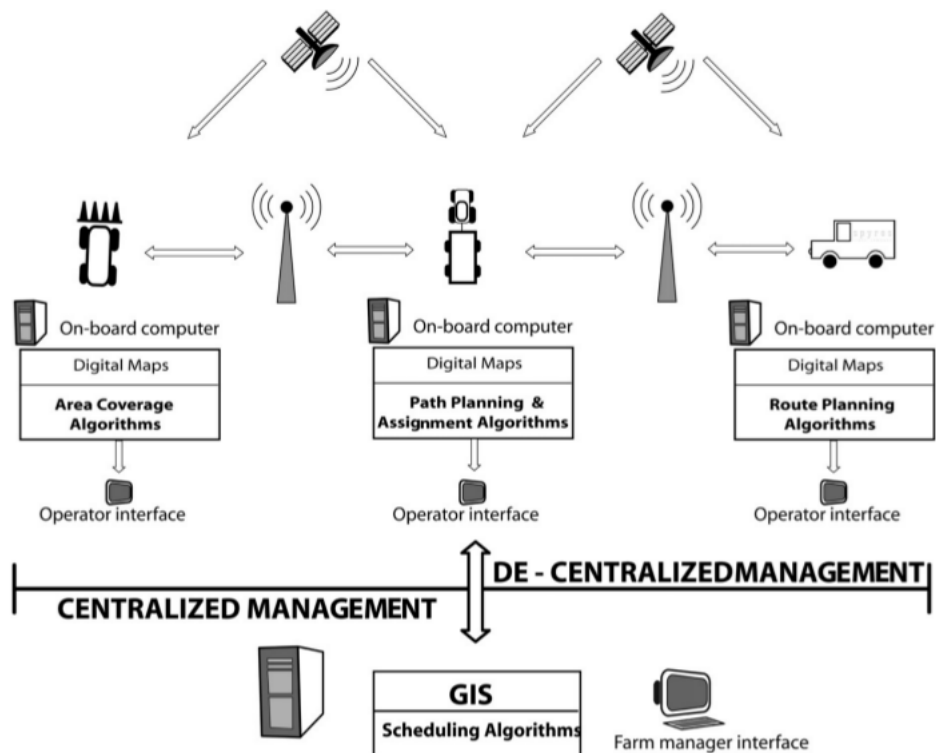
## Effizienz im Flottenmanagement

In großen Landwirtschaftsbetrieben spielt das effiziente Flotten-Management eine bedeutende Rolle. In [44] wird eine ganzheitliche Lösung experimentell geprüft die zeigen soll welche Verbesserungen von einem System zu erwarten sind das sowohl die Auslastung der einzelnen Geräte, Wege für die Maschinen und die operationale Effizienz optimieren soll.

Abbildung 4.3 zeigt den Unterschied zwischen einem zentralen und einem dezentralen Ansatz. Während im zentralen Ansatz die Planung in einem leistungsstarkem System geschieht, wird im dezentralen Einsatz die Planung auf alle Akteure verteilt. Der Vorteil des verteilten Systems ist, dass Sensoren auf den Akteuren zeitnah Informationen in die Planung einfließen lassen können, der Nachteil ist, dass die Akteure untereinander kommunizieren müssen um eine Entscheidung zu finden. Sørensen sieht keine Alternative zu der Verwendung der Sensoren auf den Maschinen und empfiehlt im Bereich Balancierung zwischen Kommunikationsaufwand und Verwertung vorhandener Informationen (z.B. aus GIS-Systemen) weiter zu forschen.

## Planungswerkzeuge für Freiluftunternehmen

Im Gegensatz zu Glashäusern sind Felder der Umwelt schutzlos ausgeliefert. Das bedeutet, dass sich die Umweltfaktoren schnell ändern können und nicht alle Faktoren ausgeglichen werden können. (z.B.



**Figure 4.5:** Vergleich zwischen zentralem und dezentralem Planungsansatz im Flotten-Management.

können Pflanzen nicht gegen Hagel geschützt werden.)

Den Einsatz von Ingenieurswerkzeugen um einen bestimmten Ertrag (z.B. Ernte, Kohle, etc.) zu produzieren werden *Open Air Engineering*-Prozesse genannt. Diese Arbeiten zeichnen sich dadurch aus, dass im Betrieb eine Menge von verschiedenen Fahrzeugen und Arbeitern zusammen wirken müssen. (z.B. Mähdrescher, Traktoren um Pflügen, Traktoren um Wasserpumpen zu betreiben, etc.)

In [47] stellen Valckenaers und Belle auf ein Planungskonzept für Open Air Engineering Prozesse vor. Die Basis ist eine Umsetzung der PROSA-Architektur um die im Prozess beteiligten Akteure als Agenten zu modellieren. Diese Agenten können in einer Simulation getestet werden um Probleme in der Ausführung erkennen zu können.

Für kleine Betriebe wird in [26] eine Android-Anwendung vorgestellt die kostengünstig und ohne Materialeinsatz Planungsaufgaben erledigen soll. Die Anwendung dient sowohl zur Kostenrechnung für Material und Personal wie auch Vermessung der Anbaufläche.

---

# Zusammenfassung und Ausblick

---

Dieses abschließende Kapitel fasst die vorgestellten Themen und deren roten Faden zusammen und gibt einen Ausblick auf Arbeit die in den Forschungsgebieten noch erledigt werden muss und einen Abriss über Forschungsgebiete die nur gestreift werden konnten.

## 5.1 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den wichtigsten Themen die in [33] definiert wurden:

- Sensorsysteme (GIS- und Sensornetzwerksysteme)
- Modellierung von für die Energieeffizienz in der Landwirtschaft relevanten Daten für den Austausch, Verarbeitung und Optimierung.
- Planungs- und Unterstützungssysteme

Die Arbeiten haben gezeigt, dass Sensornetzwerksysteme sowohl in kontrollierten Umgebungen wie Glashäusern eingesetzt werden können sowie auf großen freiliegenden Flächen. Die verfügbaren Protokolle sind soweit Auswertungen auf einzelne Knoten verlagern zu können. Für das Routing gibt es mehrere Lösungen die es erlauben die Knoten ohne Suberknoten dynamisch geroutet verwenden zu können. Die Messsensoren können verschiedene Werte messen wie z.B.

- Temperatur
- Erd- und Luftfeuchtigkeit
- Grüne Farbsättigung von Blattwerk
- Luftdruck, etc.

Diese Daten werden dann in den Systemen nach den Kategorien Operational View und Analytical View unterschieden. Dies dient dazu sie für die entsprechenden DSS- und ERP-Systeme aufzubereiten.

Innerhalb der Anwendungen werden sie nach mathematischen Modelle zur Effizienzsteigerung ausgewertet. Die Ergebnisse werden dann in Form von kurzfristigen Taktiken oder langfristigen Strategien von Expertensystemen und DSS ausgegeben.

Die Strategien und Taktiken betreffen alle Punkte in der Produktionskette wie das Flotten-Management, Ressourcenverwendung (Samen, Wasser, Dünger, etc.) oder die Auswahl der geeigneten Anbausorten und Anbauflächen.

## 5.2 Ausblick

Die Forschung ist vor im Bereich der DSS gefragt und in der Entwicklung von Systemen die zeitnah GIS-Daten erfassen können. Die in [14] vorgestellte Drohnenlösung bietet ein Forschungsfeld mit viel Potential die teuren und aufwendigen Satellitenbilder ersetzen zu können.

Das in [13] vorgestellte Framework stellt einen vielversprechenden Ansatz dar verschiedene Datenquellen auszuwerten um Entscheidungen zu treffen. Dieser Ansatz kann weiter verfolgt werden um weit reichende Verknüpfungen der Umweltdaten für ein Planungssystem zu schaffen das langfristig (wie in [51]) und kurzfristige Abläufe optimieren kann.

Damit kann die zeitnahe Optimierung des Ressourceneinsatz insbesondere für die Landwirtschaft unter freiem Himmel vorangetrieben werden.

---

# Bibliography

---

- [1] ZS Andreopoulou. Green Informatics: ICT for green and Sustainability. *Journal of Agricultural Informatics*, 3(2):1–8, 2013.
- [2] SZA Aqeel-ur Rehman. ONTAgrri: scalable service oriented agriculture ontology for precision farming. *2011 international conference on agricultural and ...*, 2011.
- [3] Benoit a. Aubert, Andreas Schroeder, and Jonathan Grimaudo. IT as enabler of sustainable farming: An empirical analysis of farmers’ adoption decision of precision agriculture technology. *Decision Support Systems*, 54(1):510–520, December 2012.
- [4] Hermann Auernhammer. Precision farming—the environmental challenge. *Computers and electronics in agriculture*, 30(1-3):31–43, February 2001.
- [5] Véronique Bellon-Maurel, Michael D. Short, Philippe Roux, Matthias Schulz, and Gregory M. Peters. Streamlining life cycle inventory data generation in agriculture using traceability data and information and communication technologies – part I: concepts and technical basis. *Journal of Cleaner Production*, 69:60–66, April 2014.
- [6] Kriti Bhargava. Wireless sensor network based advisory system for Apple Scab prevention. ... (NCC), *2014 Twentieth ...*, pages 1–6, February 2014.
- [7] Stéphane Blancard and Elsa Martin. Energy efficiency measurement in agriculture with imprecise energy content information. *Energy Policy*, 66:198–208, March 2014.
- [8] Thomas Burkhart, Stephan Wolter, and Markus Schief. A comprehensive approach towards the structural description of business models. *Proceedings of the ...*, page 88, 2012.
- [9] Alessandro Carosio. *Geoinformationssysteme Band 1*. Institut für Geodäsie und Photogrammetrie Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, 2006.
- [10] P Checkland. Soft systems methodology: a thirty year retrospective. *Systems Research and Behavioral Science*, 58:11–58, 2000.
- [11] Kevin Cullinane, Teng-Fei Wang, Dong-Wook Song, and Ping Ji. The technical efficiency of container ports: Comparing data envelopment analysis and stochastic frontier analysis. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 40(4):354–374, May 2006.
- [12] J Curtiss and L Jelinek. Cost Efficiency and Farm Self-selection in Precision Farming: The Case of Czech Wheat Production. ... *18-19, 2012, Prague, Czech Republic*, 2012.
- [13] Ritaban Dutta, Ahsan Morshed, Jagannath Aryal, Claire D’Este, and Aruneema Das. Development of an intelligent environmental knowledge system for sustainable agricultural decision support. *Environmental Modelling & Software*, 52:264–272, February 2014.

- [14] E Honkavaara. Hyperspectral reflectance signatures and point clouds for precision agriculture by light weight UAV imaging system. ... *Sciences I-7*, I(September):353–358, 2012.
- [15] Manping Hou, Jinmin Hao, Ying Shi, Jun Yang, Qian Wen, Mingzhu Cha, and Lingkun Xiong. IFIP AICT 393 - A Study of Agricultural Zoning of Huang-Huai-Hai Plain Based on GIS. In *A Study of Agricultural Zoning of Huang-Huai-Hai Plain Based on GIS*, pages 84–91. 2013.
- [16] Andrew Howard, MJ Matarić, and GS Sukhatme. Mobile sensor network deployment using potential fields: A distributed, scalable solution to the area coverage problem. *Distributed autonomous robotic* ... , 2002.
- [17] Shanyu Huang, Yuxin Miao, Guangming Zhao, and X Ma. Estimating rice nitrogen status with satellite remote sensing in Northeast China. *Agro-Geoinformatics* ... , (31071859), 2013.
- [18] RD Jackson and AR Huete. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, 1991.
- [19] Vana Jelcic, Michele Magno, Davide Brunelli, Giacomo Paci, and Luca Benini. Context-Adaptive Multimodal Wireless Sensor Network for Energy-Efficient Gas Monitoring. *IEEE Sensors Journal*, 13(1):328–338, January 2013.
- [20] Nan Jian and Basil Sharp. Cost Efficiency of Dairy Farming in New Zealand: a stochastic frontier analysis. In *NZARES Conference - Creativity in Research*, page 27, 2013.
- [21] Murari Devakannan Kamalesh and Mani Gandan. Increasing the Production Rate by Automation Systems in Fields. *International Journal of Computer Science and Informations Technologies*, 5(2):1574–1576, 2014.
- [22] Alfons Kemper and Thomas Neumann. CONFERENCE: HyPer: A Hybrid OLTP&OLAP Main Memory Database System Based on Virtual Memory Snapshots. pages 195–206, 2011.
- [23] Zafar Khaydarov, Teemu H. Laine, Silvia Gaiani, Jinchul Choi, and Chaewoo Lee. Context-aware agriculture organizer. *Proceedings of the 6th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication - ICUIMC '12*, page 1, 2012.
- [24] Walter Klöpffer. Life cycle assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, 4(4):223–228, 1997.
- [25] KD Kokate and AK Singh. Use of Mobile Technologies for Empowering Small holder farmers in India. <http://www.e-agriculture.org/content/use-mobile-technologies-empowering-small-holder-farmers-india> (accessed 2 June 2014), pages 1–9, 2013.
- [26] Theodoros Lantzios, George Koykoyris, and Michail Salampasis. FarmManager: An Android Application for the Management of Small Farms. *Procedia Technology*, 8(Haicta):587–592, January 2013.
- [27] Nan Lin, Dongming Li, and Chunguang Bi. Research on Development of Corn Production Decision Support System. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical* ... , 11(7):3798–3808, 2013.
- [28] Jiangang Liu, Yongchang Wu, Tingting Tao, and Qingquan Chu. Research and development of decision support system for regional agricultural development programming. ... *and Computing Technologies in Agriculture VI*, pages 271–281, 2013.
- [29] Wei Liu, Yufeng Diao, Haijun Gu, and Hongxia Wang. The Implementation of Layered Sensor Network Based on Semantic Technology. *2012 International Conference on Industrial Control and Electronics Engineering*, 2:1506–1510, August 2012.
- [30] Gang Lu. An adaptive energy-efficient and low-latency MAC for tree-based data gathering in sensor networks. ... *and Mobile Computing*, (May):863–875, 2007.

- [31] M. Mancuso and F. Bustaffa. A wireless sensors network for monitoring environmental variables in a tomato greenhouse. *2006 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, pages 107–110, 2006.
- [32] A Meyer-Aurich, A Balafoutis, and T Daalgard. Energy efficiency in Agriculture—Opportunities, Constraints and Research needs. 2013.
- [33] Hannu Mikkola, Tommy Dalgaard, Demetres Briassoulis, Panos Panagakis, Athanasios Balafoutis, Andreas Meyer-Aurich, Fatima Baptista, Luis Silva, Dina Murcho, Miguel de Castro Neto, Ryszard Myhan, Zbigniew Brodziński, Mariusz Stolarski, Ewelina Olba-Zięty, Janusz Gołaszewski, Herman Schoorlemmer, and Chris de Visser. D4.5. Agenda for Transnational Co-operation on energy efficiency in agriculture. Technical report, 2013.
- [34] S R Nandurkar, V R Thool, and R C Thool. Design and Development of Precision Agriculture System Using Wireless Sensor Network. *Automation, Control, Energy and Systems (ACES), 2014 First International Conference on*, pages 1–6, 2014.
- [35] Timothy L. Nyerges, Mary J. Roderick, and Michalis Avraam. CyberGIS design considerations for structured participation in collaborative problem solving. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(11):2146–2159, November 2013.
- [36] GE Omarova and MN Sennikov. Expected Programming of Efficiency of Sugar Beet with Application of GIS Technology. *World Applied Sciences . . .*, 26(6):750–754, 2013.
- [37] Tomasz Pazurkiewicz, Michal Gregorczyk, and Konrad Iwanicki. NarrowCast: A New Link-Layer Primitive for Gossip-Based Sensornet Protocols. *Wireless Sensor Networks*, 2014.
- [38] Abdul Razaque. Communiation The Use of Mobile Phone Among Farmers for Agriculture Development. *Information Technology for Development*, (2277):95–98, 2013.
- [39] J. Romeo, G. Pajares, M. Montalvo, J.M. Guerrero, M. Guijarro, and J.M. de la Cruz. A new Expert System for greenness identification in agricultural images. *Expert Systems with Applications*, 40(6):2275–2286, May 2013.
- [40] L. Ruiz-Garcia, G. Steinberger, and M. Rothmund. A model and prototype implementation for tracking and tracing agricultural batch products along the food chain. *Food Control*, 21(2):112–121, February 2010.
- [41] SJ Russell, Peter Norvig, JF Canny, JM Malik, and DD Edwards. *Artificial intelligence: a modern approach*. 1995.
- [42] Christian Schulze, Joachim Spilke, and Wolfgang Lehner. Data modeling for Precision Dairy Farming within the competitive field of operational and analytical tasks. *Computers and electronics in agriculture*, 59(1-2):39–55, November 2007.
- [43] Zubair A Shaikh, Noor A Shaikh, Noman Islam, and Emerging Sciences. An Integrated Framework to Develop Context-Aware Sensor Grid for Agriculture 1. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 4(5):922-931, 4(5):922–931, 2010.
- [44] C.G. Sørensen and D.D. Bochtis. Conceptual model of fleet management in agriculture. *Biosystems Engineering*, 105(1):41–50, January 2010.
- [45] Mare Srbinovska, Cvetan Gavrovski, Vladimir Dimcev, Aleksandra Krkoleva, and Vesna Borožan. Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks. *Journal of Cleaner Production*, May 2014.
- [46] Kaduna State and Ebonyi State. Assessment of the Role of Mass Media in the Dissemination of Agricultural Technologies among Farmers in Kaduna North Local Government Area of Kaduna State, Nigeria. *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 3(6):19–28, 2013.



- [47] P Valckenaers and J Van Belle. PROSA and Delegate MAS for Open-Air Engineering Processes. In *IEEE ETFA*, 2011.
- [48] Amol D Vibhute. Analysis and Modeling of Agricultural Land use using Remote Sensing and Geographic Information System: a Review. *International Journal of Engineering Research and Applications (IJERA)*, 3(3):81–91, 2013.
- [49] Cheng Wang and Chan-juan Pang. The Design of Protected Agriculture Monitoring Information System Based on GIS-A Case Study of Qiqihar. *International Journal of U-& E-Service*, ..., 6(5):25–38, October 2013.
- [50] Xiaoshan Wang and Qingwen Qi. Design and realization of precision agriculture information system based on 5S. *2011 19th International Conference on Geoinformatics*, pages 1–4, June 2011.
- [51] KO Wenkel, W Mirschel, M Berg, R Wieland, and B Köstner. -based information and decision support system landcare-dss for the development of economic effective application strategies of agriculture to climate change. *HAICTA*, (Haicta 2011):8–11, 2011.
- [52] Ye Yuan, Wei Zeng, and Zili Zhang. LNAI 8041 - A Semantic Technology Supported Precision Agriculture System: A Case Study for Citrus Fertilizing. *Knowledge Science, Engineering and Management Lecture Notes in Computer Science Volume 8041*, pages 104–111, 2013.
- [53] Jianjun Zhou, Xiaofang Wang, Xiu Wang, Wei Zou, and Jichen Cai. Greenhouse Monitoring and Control System Based on Zigbee. *Proceedings of the 2nd International Conference on Computer Science and Electronics Engineering (ICCSEE 2013)*, (Iccsee):2361–2364, 2013.
- [54] Qiming Zhou and A-Xing Zhu. The recent advancement in digital terrain analysis and modeling. *International Journal of Geographical Information Science*, 27(7):1269–1271, July 2013.
- [55] Wenquan Zhu, Yaozhong Pan, Hao He, Deyong Yu, and Haibo Hu. Simulation of maximum light use efficiency for some typical vegetation types in China. *Chinese Science Bulletin*, 51(4):457–463, February 2006.
- [56] Zhiqing Zhu, Rongmei Zhang, and Jieli Sun. Research on GIS-Based Agriculture Expert System. *2009 WRI World Congress on Software Engineering*, pages 252–255, 2009.
- [57] Muhammad Talah Zia, Faisal Fayyaz Qureshi, and Syed Sitwat Shah. Energy Efficient Cognitive Radio MAC Protocols for Adhoc Network: A Survey. *2013 UKSim 15th International Conference on Computer Modelling and Simulation*, pages 140–143, April 2013.