

Die fortschreitende Technisierung in der Landwirtschaft erfordert für wachsende Einzelbetriebe den Einsatz von immer mehr Energie. In der Innenwirtschaft handelt es sich dabei vor allem um elektrischen Strom. Bei gleichzeitig geforderten hohen Verfahrensleistungen in den einzelnen Betrieben führt dies jedoch zu außergewöhnlichen und für die Elektroenergieversorgungsunternehmen kritischen Netzspitzenbelastungen. Folglich muß für künftige Entscheidungen ein umfangreiches, repräsentatives und für den Einzelbetrieb auf dessen Erfordernisse abwandelbares Grunddatenmaterial erstellt und in universell anwendbaren Modellen praxisnah verknüpft werden.

Ausgangssituation

Landwirtschaftliche Arbeitsverfahren oder Verfahrensteile werden durch die Parameter Arbeitszeitbedarf, Energiebedarf und Investitionsbedarf beschrieben. Daraus sind entsprechend den betriebspezifischen Gegebenheiten die betriebspezifischen Kosten je Einsatzstunde oder je bearbeitete Einheit zu berechnen.

Reicht nun in einem Betrieb die Leistung eines bestehenden Verfahrens nicht aus, oder ist überhaupt eine Neuplanung durchzuführen, dann ergibt sich dafür allgemein die Vorgehensweise nach Abbildung 1.

	Entscheidungsphase	Funktionelle Abhängigkeit
1.	Bestehende Verfahrensleistung nicht (mehr) ausreichend! Welche Verfahrensalternative n bringt welche Leistung?	$t_n = f \left(\begin{matrix} \text{technische Kenngrößen,} \\ \text{betriebspezifische Einflußgrößen} \end{matrix} \right)$
2.	Wie hoch ist der Energiebedarf der Verfahrensalternative n?	$e_n = f(t)$
3.	Welche Verfahrensalternative n erfordert welchen Kapitalbedarf?	$i_n = f \left(\begin{matrix} \text{Grund- und Zusatzausstattung,} \\ \text{Überführung, Montage-Installation,} \\ \text{Einweisung} \end{matrix} \right)$
4.	Welche Verfahrensalternative n ist die kostengünstigste?	$k_n = f(t, i, e)$

Abbildung 1: Entscheidungsschritte bei der Auswahl von Verfahrensalternativen

Danach bedarf es im ersten Schritt der Analyse des erforderlichen Arbeitszeitbedarfes aller Verfahrensalternativen als Funktion wirksamer Einflußgrößen. Diese bestimmen sich für den konkreten Fall aus den konstanten betriebspezifischen Faktoren und den verfahrensspezifischen Kenngrößen. Die ermittelte abhängige Zielgröße Arbeitszeitbedarf bzw. Arbeitsdauer gestattet danach die Bestimmung des Energieverbrauches in direkter Abhängigkeit im Schritt 2. Nach

Ablaufabschnitte	Arbeitszeitbedarf	Energiebedarf
1. Schlepper und Ladewagen zum Abladen vorbereiten	f (Arbeitselemente)	-
2. Gebläse einschalten und Ladewagen öffnen	f (Arbeitselemente)	Leerlaufenergiebedarf
3. Anwelkgut mit Gebläse abladen	f (Arbeitselemente und eingesetzte Technik)	f (Arbeitsdauer und eingesetzte Technik)
4. Ladewagen schließen und Gebläse ausschalten	f (Arbeitselemente)	Leerlaufenergiebedarf
5. Nacharbeiten an Schlepper und Ladewagen	f (Arbeitselemente)	-

Abbildung 2: Ablaufabschnitte mit Arbeitszeitbedarf und Elektro-Energiebedarf für die Einlagerung von Anwelksilage mit Fördergebläse

der Ermittlung des erforderlichen Kapitalbedarfes im Schritt 3 lassen sich daraus die Kosten im Schritt 4 ermitteln. Für diese Ablauffolge soll nun ein praktisches Beispiel die direkten Zusammenhänge im Schritt 1 und Schritt 2 aufzeigen.

Bei der Einlagerung von Anwelksilage mit Fördergebläsen sind nach Abbildung 2 - wie bei vielen anderen Verfahren - fünf Abschnitte zu erkennen, bei denen Energie in unterschiedlichem Umfang benötigt wird. Diese Abschnitte lassen sich in drei Gruppen einordnen. Dabei wird im Bereich der Vorarbeiten mit Tätigkeiten im Schlepper und für den adäquaten Abschnitt bei Arbeitsende keine Elektroenergie benötigt. Bei den Vorarbeiten und den Nacharbeiten am Ladewagen fällt dagegen ein Verbrauch an Leerlaufenergie an. Der eigentliche Elektroenergiebedarf resultiert schließlich aus der Haupttätigkeit des Abladens und wird dabei von einer Vielzahl an Einflußgrößen bestimmt. Aufbauend auf diese Zusammenhänge kann nun der entsprechende mathematische Modellansatz definiert werden, wenn dafür die Grunddaten bekannt sind.

Nach Untersuchungen von ZEISIG et al 1981 beträgt der Leerlaufenergiebedarf etwa 75% der Motornennleistung. Über einen entsprechenden Umrechnungsfaktor kann daraus direkt multiplikativ der entsprechende Leerlauf-Energiebedarf als Funktion der Leerlaufzeit und der Motornennleistung mit

$$e(L) = (0,0124 \times \text{kW}(\text{Motornennleistung})) \times \text{Leerlaufdauer}$$

bestimmt werden. Die entsprechende Leerlaufdauer ergibt sich aus der Addition der benötigten Zeitelemente während der Vorbereitungszeit am Ladewagen.

Wesentlich schwieriger ist die Ermittlung des eigentlichen Hauptenergieverbrauches während der Abladetätigkeit. Hierbei ist im ersten Schritt der Zeitbedarf für die Abladeleistung in Abhängigkeit von der Trockenmasse, der Lademasse und Motornennleistung des Abladegebläses zu bestimmen. Empirisches Zahlenmater-

rial nach ZEISIG erbrachte durch eine Korrelations- und Regressionsanalyse den mathematischen Ansatz nach Abbildung 3 auf Seite 165.

$$t = f(TM; \text{Anwelkgutmenge}; \text{Motornennleistung})$$

$$t(\text{cmin}) = 18,153 - 0,2451 * \text{Trockenmasse (\%)} + 0,0066 * \text{Anwelkgutmenge (kg)} - 0,8435 * \text{Motorantriebsleistung (kW)}$$

$$n = 18^*$$

$$B = 47,2 \%$$

$$\hat{\epsilon}_{\text{Schiefe}} = -0,084$$

$$\hat{\epsilon}_{\text{Exze\ss}} = -0,974$$

Abbildung 3: Planzeit für das Abladen von Anwelkgut mit Fördergebläsen (Handarbeit)

Das gleiche Datenmaterial, ergänzt um den erforderlichen Abladezeitbedarf, führt schließlich zur Ermittlung der Planenergiefunktion in Abhängigkeit von Trockenmasse, Ladegutmasse, Antriebsmotorleistung, Abladezeit nach Abbildung 4.

$$e = f(TM; \text{Anwelkgutmenge}; \text{Motornennleistung}; \text{Zeitbedarf})$$

$$e(\text{kWh}) = -2,8075 + 0,0417 * \text{Trockenmasse (\%)} + 0,0006 * \text{Anwelkgutmenge (kg)} + 0,1304 * \text{Antriebsmotorleistung (kW)} + 0,1070 * \text{Abladezeit (AKmin)}$$

$$n = 18^*$$

$$B = 84,6 \%$$

$$\hat{\epsilon}_{\text{Schiefe}} = 2,321$$

$$\hat{\epsilon}_{\text{Exze\ss}} = 1,018$$

* Datenbasis: Praxismessungen von ZEISIG et al. 1980/81

Abbildung 4: Elektro-Energiebedarfsfunktion für das Abladen von Anwelkgut mit Fördergebläse (Handdosierung)

Der Modellansatz

Insgesamt ergibt sich somit der deterministische, multifunktionale Zusammenhang nach Abbildung 5.

Arbeitsabschnitte		Planzeiten	Energie-Bedarfsfunktionen
Element	Kode	min	kWh
1. Zapfwelle einschalten	708	13,3	-
2. vom Schlepper absteigen	704	10,7	-
3. zum Gebläse gehen	900	0 + 1,31*EF1	-
4. Gebläse einschalten	905	8,4	-
5. zur Ladewagenrückwand gehen	900	0 + 1,31*EF2	(.0124*EF5) * Y ₉₀₀
6. Ladewagenrückwand öffnen	659	76,6	(.0214*EF5) * Y ₆₅₉
7. Anwekksilage mit Gabel dem Gebläse dosiert zuführen	xxx	18,15 - 0,2451*EF3 + 0,0066*EF4 - 0,8435*EF5	-2,81 + 0,0417 * EF3 + 0,0006 * EF4 + 0,1304 * EF5 + 0,1070 * Y _{xxx}
8. Ladewagenrückwand schließen	659	76,6	(.0214 * EF5) * Y ₆₅₉
9. zum Gebläse gehen	900	0 + 1,31*EF2	(.0214 * EF5) * Y ₉₀₀
10. Gebläse abschalten	905	8,4	(.0214 * EF5) * Y ₉₀₅
11. zum Schlepper gehen	900	0 + 1,31*EF1	-
12. auf Schlepper aufsteigen	701	13,9	-
13. Zapfwelle ausschalten	708	13,3	-

Einflußgrößen: EF1 = Entfernung Schlepper - Abladegebläse ($\bar{x} = 12$ m)
 EF2 = " Abladegebläse - Ladewagenrückwand ($\bar{x} = 4$ m)
 EF3 = Trockenmassegehalt des Anwekkgutes ($\bar{x} = 25$ %)
 EF4 = Anwekkgutmenge des Ladewagens ($\bar{x} = 3000$ kg)
 Y_n = Arbeitszeitdauer des n. Arbeitsabschnittes in AKmin

Abbildung 5: Deterministisches Simulationsmodell für den Arbeitszeitbedarf und den Elektro-Energiebedarf zur Einlagerung von Anwekksilage mit Fördergebläse (Handdosierung)

Dessen jeweilige Zielgrößen in Form des Arbeitszeitbedarfes und des Elektroenergiebedarfes führen zu einer relativ komplexen Formel. Echte betriebsspezifische Zeit- und Energiebedarfswerte erfordern demnach einen relativ hohen manuellen Aufwand zur Kalkulation, falls nicht auf Programme und Auswertung über die EDV zurückgegriffen wird.

Energiebedarfsermittlung im landwirtschaftlichen Informationssystem Landtechnik (Teilbereich KALKWH)

In Ergänzung zu den bisherigen Arbeiten an der Landtechnik Weihenstephan wurde deshalb ein weiterer Bereich im 'Landwirtschaftlichen Informationssystem Landtechnik' geschaffen (Abbildung 6 auf Seite 167).

Er soll alle zu erstellenden Elektroenergiefunktionen und deren statistische Kenngrößen aufnehmen. Über die Programmversion (KALKWH) wird dann die Kalkulation beliebiger betriebsspezifischer Verfahrensalternativen ermöglicht. Als Ergebnis daraus werden neben den wichtigsten Einflußgrößen (Abbildung 7 auf Seite 168) alle relevanten Daten für den Arbeitszeitbedarf und für den Energiebedarf

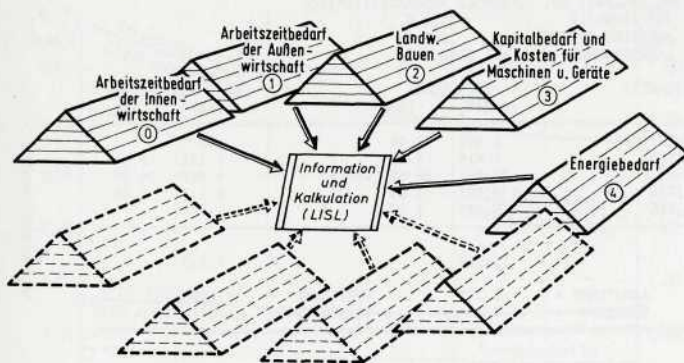


Abbildung 6: Kalkulationsbereiche im 'Landwirtschaftlichen Informationssystem Landtechnik (LISL)'

ausgewiesen. Schließlich erfolgt daraus die Summenbildung und die Bestimmung der verfahrensspezifischen Parameter Zeitbedarf pro Einheit und Einheiten pro Normzeit. Dieses in sich geschlossene System, welches später in den Bereich Arbeitszeitdaten einfließen wird, besitzt somit folgende Vorzüge:

- o Eine vollständige Dokumentation,
- o die Vorbelegung der Einflußgrößen mit mittleren Werten der Praxis,
- o die beliebige Anpassung an betriebsspezifische Gegebenheiten.

Allerdings darf dabei der Nachteil der festen Bindung an die EDV nicht übersehen werden.

Bedingt durch diese Zusammenhänge soll deshalb parallel zur Erarbeitung der entsprechenden Elektroenergiebedarfsfunktionen ein Katalog von tabellarischen Energiebedarfswerten erarbeitet werden. Er könnte dann die derzeitigen Arbeitszeitbedarfswerte, z.B. im KTBL-Taschenbuch, um den Bereich der Elektroenergiebedarfswerte sinnvoll ergänzen (Abbildung 8 auf Seite 168). Gleichzeitig wird es notwendig sein, die entsprechenden Funktionen als graphische Darstellungen für bestimmte Anwender zur Verfügung zu stellen (Abbildung 9 auf Seite 169). Letztendlich erbringen somit die vorgesehenen Aktivitäten alle wichtigen Elektroenergiebedarfswerte in den derzeit wichtigsten Informationsvermittlungsformen

Tabelle, Nomogramm und vollständig variable Funktion

und bieten somit die Gewähr, daß aus dem EDV-gestützten Grunddatensystem alle Nachfragen entsprechend ihren Wünschen mit aktuellem Datenmaterial versorgt werden können.

KALKULATIONSERGEBNIS BEI FOLGENDER AUSGANGSSITUATION :

TROCKENMASSE = 35.0 %
 ANTRIEBSLEISTUNG = 10.0 KW
 LADEGUTMENGE = 3000.0 KG

ABSCHNITT	ZEITBEDARF		EL-ENERGIEBEDARF	
	(AKMIN)	(%)	(KWH)	(%)
VORARBEITEN	0.481	2.04		
RÜSTARBEITEN	0.818	3.47	0.101	2.41
ABLADEN	20.939	88.84	3.997	94.93
RÜSTARBEITEN	0.902	3.83	0.112	2.66
NACHARBEITEN	0.429	1.82		
SUMME	23.569		4.210	
AKH/TONNE =	0.131		KWH/TONNE =	1.403
TONNEN/H =	7.637		TONNEN/KWH =	0.713

Abbildung 7: Kalkulationsergebnis für das Einlagern von Anwelksilage mit Fördergebläse (Handdosierung)

EINLAGERUNG VON ANWELKSILAGE MIT FÖRDERGEBLÄSE (HANDDOSIERUNG)

Arbeitszeitbedarf (AKh/t)

E-Energiebedarf (kwh/t)

TM = 25 %

Motor-nennleistung (kW)	Ladegewicht (t)			
	2	2,5	3	3,5
7.5	.179	.166	.156	.150
10	.162	.151	.145	.140
12.5	.144	.137	.133	.130
15	.127	.123	.121	.120

Ladegewicht (t)			
2	2,5	3	3,5
1.298	1.299	1.300	1.301
1.374	1.361	1.352	1.345
1.451	1.422	1.403	1.389
1.528	1.484	1.454	1.433

TM = 30 %

7.5	.169	.157	.149	.144
10	.152	.143	.138	.134
12.5	.134	.129	.126	.124
15	.116	.115	.114	.114

1.336	1.330	1.326	1.323
1.413	1.392	1.377	1.367
1.490	1.453	1.429	1.411
1.567	1.515	1.480	1.455

TM = 35 %

7.5	.159	.149	.143	.138
10	.141	.135	.131	.128
12.5	.124	.121	.119	.118
15	.106	.107	.108	.108

1.375	1.361	1.352	1.345
1.452	1.423	1.403	1.389
1.529	1.484	1.454	1.433
1.605	1.546	1.506	1.477

Abbildung 8: Tabellarische Kalkulationsdaten für die Einlagerung von Anwelksilage mit Fördergebläse (Handdosierung)

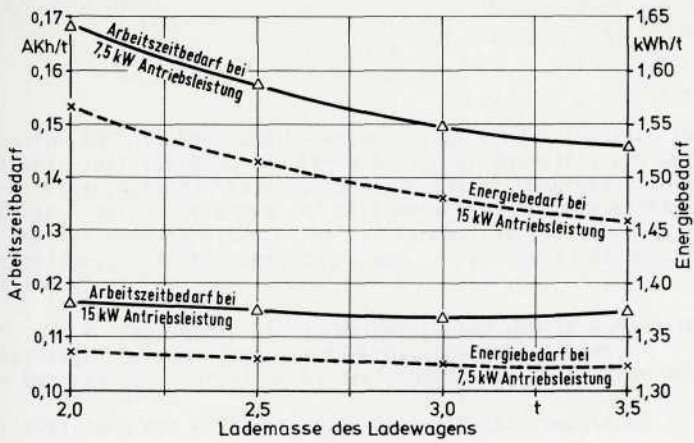


Abbildung 9: Abhängigkeit des Arbeitszeit- und des Elektroenergiebedarfes für die Einlagerung von Anwekksilage mit Fördergebläse bei Handdosierung von der Lademasse