

Institut für Landtechnik der
TECHNISCHE N U N I V E R S I T Ä T

Nahbereichsphotogrammetrie - eine Methode zur
Registrierung und Quantifizierung des Tierver-
haltens im Liegeboxenlaufstall

ARNO ZIPS

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für
Landwirtschaft und Gartenbau der Technischen
Universität München zur Erlangung des akademi-
schen Grades eines

Doktors der Agrarwissenschaften
genehmigte Dissertation.

Vorsitzender: Prof. Dr. W. Groth
1. Prüfer: Prof. Dr. H. L. Wenner
2. Prüfer: Prof. Dr. H. Ebner

Die Dissertation wurde am 08. 10. 1982 bei der
Technischen Universität München eingereicht und
durch die Fakultät für Landwirtschaft und Garten-
bau am 09. 02. 1983 angenommen.

Tag der Promotion: 17. 02. 1983

Copyright 1983: Dr. agr. A. Zips

Bezugsquelle: Institut für Landtechnik
Technische Universität München
Vöttingerstr. 36
D - 8050 Freising-Weihenstephan

Die vorliegende Arbeit wurde aus Mitteln des Sonderforschungsbereiches 141 finanziell ermöglicht, wofür an dieser Stelle herzlich gedankt sein soll.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. H.-L. Wenner, Direktor des Instituts für Landtechnik der Technischen Universität München-Weihenstephan für die freundliche Überlassung des Themas.

Herrn Prof. Dr. H. Ebner, Direktor des Lehrstuhl für Photogrammetrie der Technischen Universität München, danke ich für die Übernahme des Koreferates.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Herrn Dr. J. Boxberger für die wissenschaftliche Betreuung und Unterstützung. In gleicher Weise gilt Herrn Dr. H. Auernhammer und Dr. M. Stephani (Lehrstuhl für Photogrammetrie der Technischen Universität München) mein aufrichtiger Dank für die wertvolle Unterstützung bei der Erstellung der Software für die Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare.

Herrn J. Sebald, Kirchdorf, der mit der Bereitstellung seines Milchviehlaufstalles den Grundstein für die Durchführung dieser Arbeit gelegt hat, gilt mein besonders herzlicher Dank.

Freising, September 1982

.....
Anno Zips

Vorwort

Verschiedene moderne Haltungssysteme werden seit geraumer Zeit heftig diskutiert; besonders die einseitige Ausrichtung von vielen Milchviehställen nach rein arbeitswirtschaftlichen Gesichtspunkten wird kritisiert. Vielleicht auch der Trend, möglichst kapitalsparend zu bauen, hat zur Vernachlässigung der Ausführung von funktionellen Stalldetails geführt. Daher müssen sich die Produktions- und Verfahrenstechniker fragen, ob nicht mehr Raumangebot und bessere Gestaltung von Ausführungsdetails - was allerdings in der Regel höhere Baukosten verursacht - eine bessere Herdenleistung und eine längere Lebensleistung je Tier bedingt.

Um so mehr wird es deshalb erforderlich sein, bei zukünftigen Forschungsarbeiten die Anforderungen des Tieres an seine technisierte Umwelt mehr als bisher zu berücksichtigen. Dazu muß zunächst umfangreiches Grunddatenmaterial über das Tierverhalten in verschiedenster Umwelt erfaßt werden. Dafür fehlen allerdings in wichtigen Teilbereichen geeignete Untersuchungsmethoden.

Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit einer neuen Methode zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall. Es handelt sich um ein Verfahren der Nahbereichsphotogrammetrie. Mit der sogenannten Stereoanalyse digitalisierte Bildpaare wird es möglich, das Verhalten einer gesamten Laufstallherde und auch das der Einzeltiere mit Interaktionen zu erfassen. Durch die koordinative Bestimmung der aktuellen Standorte der Tiere werden exakte Aussagen über die Gesamtaktivität, vor allem aber auch über das Lokomotionsverhalten möglich.

Weihenstephan im Februar 1983



o. Prof. Dr. H.-L. Wenner

INHALTSVERZEICHNIS

Seite

	Verzeichnis der Abbildungen	9
	Verzeichnis der Tabellen	12
1.	AUFGABENSTELLUNG	15
1.1	Einführung	15
1.2	Problemstellung und Zielsetzung	16
2.	VERGLEICH DERZEITIGER UNTERSUCHUNGSMETHODEN	20
2.1	Visuelle Beobachtung	25
2.2	Lichtschrankentechnik	29
2.3	Telemetrie	33
2.4	Kinematographische Registriergeräte	39
2.4.1	Reihenbildkammern	40
2.4.2	Videoanlagen	42
2.4.3	Filmkameras	44
2.4.4	Auswertung von Bildvorlagen	45
2.4.4.1	Reprooptikbewerter	48
2.4.4.2	Computergestütztes graphisches Bildanalyse- system (Minicomputer und x;y-Koordinatendi- gitalisierer)	50
2.4.5	Einordnung kinematographischer Hilfsmittel	53
2.5	Beurteilung bisher üblicher Registriermethoden	57
3.	DIE NAHBEREICHSPHOTOGRAMMETRIE ZUR REGISTRIE- RUNG UND QUANTIFIZIERUNG DES TIERVERHALTENS	66
3.1	Gerätetechnische Alternativen bei der Ver- wendung photogrammetrischer Meßverfahren	66
3.1.1	Nicht-Meßkammersysteme als Aufnahmegeräte zur Erstellung von Bildpaaren	70
3.1.2	Anordnung des gesamten Aufnahmesystems am Versuchsort	72
3.1.3	Festlegung des Basisabstandes	74
3.1.4	Justierung und Einmessung der gesamten Aufnahmeeinheit	75
3.2	Funktion und Anordnung des Paßpunktsystems	78
3.3	Bilderzeugung entsprechend versuchstechnischer Anforderungen	82

	Seite	
3.3.1	Spezifische Fragestellungen des Versuches	82
3.3.2	Lichtverhältnisse am Aufnahmeort	85
3.3.3	Kammertechnische Ausrüstung	87
3.4	Bildanalyse	89
3.4.1	Anforderungen an den Minicomputer	90
3.4.2	x;y-Koordinatendigitalisierer und Doppelprojektionseinheit	91
3.4.3	Einrichtung der Projektionseinheiten und Anordnung der Einzelelemente	95
3.4.4	Allgemeine Beschreibung des Programmkonzeptes STERDI	97
3.4.5	Programmaufbau STERDI	99
3.4.5.1	Paßpunktdatei	103
3.4.5.2	Näherungswertdatei	105
3.4.5.3	Steuerdateien STEUER und LES	106
3.4.6	Ablaufschema für das Programmpaket STERDI	108
3.4.7	Besonderheiten der interaktiven Programmversion STERDI	113
4.	ANWENDUNG DER STEREOANALYSE DIGITALISierter BILDPAARE IM LIEGEBIXENLAUFSTALL	118
4.1	Fachliche Zielsetzungen für Versuchsprojekte im Liegeboxenlaufstall	118
4.2	Spezielles Versuchsprojekt	120
4.3	Anbringung des Paßpunktsystems und Einbau der Registrieranlage	122
4.4	Durchführung der Bilderzeugung	125
4.5	Praktischer Verlauf der Bildanalyse	128
4.6	Ergebnisdarstellung	138
5.	AUFBEREITUNG DER DIGITALISIERTEN URDATEN	142
6.	BEISPIELE VON VERSUCHSERGEBNISSEN	150
6.1	Quantitative Analyse des Herdenverhaltens	150
6.2	Das Liegeverhalten der Herde	151
6.3	Das individuelle Liegeverhalten	155

		Seite
7.	VERGLEICH DER STEREOANALYSE ZUR RASTER- BILDAUSWERTUNG	161
8.	FEHLERANALYSE UND ORGANISATORISCHE BEURTEILUNG	166
8.1	Ursachen und Auswirkungen systematischer und zufälliger Fehlerquellen	166
8.2	Zufällige Fehlerquellen beim Digitali- sierprozeß	175
8.3	Zeitbedarf für die Methode	178
8.4	Kalkulation des gerätetechnischen Aufwands	179
9.	ALTERNATIVEN ZUR OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS DER STEREOANALYSE DIGITALISierter BILDPAARE	181
9.1	Gerätetechnische Vereinfachungen	181
9.2	Maßnahmen zur Reduzierung des Zeitaufwandes	184
9.3	Möglichkeiten zur Steigerung des Informa- tionsgehaltes	187
10.	ZUSAMMENFASSUNG	189
11.	LITERATURVERZEICHNIS	193
12.	ANHANG	199

<u>VERZEICHNIS DER ABBILDUNGEN</u>	Seite
1: Grundriß eines zwei- bzw. dreireihigen Liegeboxenlaufstalles für Milchkühe (nach SCHÖN u. BOXBERGER 1980 /53/)	20
2: Funktionsprinzip einer Lichtschrankeneinheit in einer Liegeboxe (nach WANDER 1976 /66/)	30
3: Datengewinnung bei Untersuchungen zur Trinkwasseraufnahme von Milchkühen im Laufstall (Blockschaltbild)	32
4: Blockschema einer Radiotelemetrieanlage (nach GEORGII 1979 /21/)	34
5: Telemetrische Datenerfassung im Liegeboxenlaufstall (Sender mobil, Empfänger stationär)	36
6: Telemetrische Datenregistrierung im Liegeboxenlaufstall (Sender stationär, Empfänger mobil)	38
7: Datenregistrierung und -dokumentation beim Einsatz von Reihenbildkammern	41
8: Datenregistrierung und -dokumentation bei Videoanlagen	42
9: Datenregistrierung und -dokumentation beim Einsatz von Filmkameras	44
10: Ablaufschema für die Analyse bildhafter Versuchsdaten	46
11: Systemübersicht (Blockdiagramm) bei der Bildbewertung mit dem Reprooptikbewerter (nach IRPS 1979 /27/)	48
12: Computergestütztes graphisches Bildanalysesystem (nach AUERNHAMMER 1981 /4/)	50
13: Fadenkreuzcursor als Abtastorgan zur x;y-Koordinatenmessung	52
14: Entscheidungskriterien bei der Auswahl kinematographischer Hilfsmittel zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens	54
15: Möglichkeiten der photogrammetrischen Bilderstellung und Bildanalyse	67
16: Aspekte bei der Stereobildanalyse (nach AUERNHAMMER 1981 /4/)	69
17: Charakterisierung des Aufnahmeortes	73
18: Darstellung der Koordinaten der Aufnahmeorte am Beispiel des Liegeboxenlaufstalles	76

	Seite
19: Darstellung der Orientierungswinkel (Richtungs-, Neigungs- u. Kantungswinkel)	77
20: Zielmarke zur Signalisierung von Paßpunkten im Objektraum	79
21: Fachspezifische und technische Faktoren bei der Erstellung von Bildpaaren	82
22: Möglichkeiten zur Beeinflussung der Beleuchtungsstärke am Aufnahmeort	85
23: Technische Komponenten eines (Nicht-)Meßkammersystems	88
24: Bestandteile des Bildanalysesystems	89
25: Vorrichtung für die Projektion von Bildpaaren auf ein Meßtablett	92
26: Filmführung zur Projektion von Filmbändern	94
27: Platzierung des gesamten Bildanalysesystems	97
28: Programmsegmentierung und Overlay-Struktur für das Programm STERDI (nach AUERNHAMMER 1981 /4/)	100
29: Ablaufschema für das Programm "STERDI" (nach STEPHANI 1981 /58/)	109
30: Schema zur Aufstellung der Verbesserungsgleichungen bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare	112
31: Aufbau und Anordnung eines Menüfeldes auf einem Meßtablett	117
32: Grundriß des Versuchsstalles	120
33: Anordnung des Paßpunktsystems im Versuchsstall	122
34: Vorrichtung zur Einrichtung, Wartung und Bedienung der Nicht-Meßkammersysteme am Aufnahmeort	123
35: Bildanalysesystem zur Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare	128
36: Ablaufschema bei der Bildanalyse	132
37: Koordinatensystem im Versuchsstall bei der Standortbestimmung der Versuchsobjekte (z-Achse nach oben)	140
38: Ablaufschema zur Analyse digitalisierter Tierpositionen und Tieraktivitäten im Liegeboxenlaufstall	147
39: Durchschnittliche, zeitliche und prozentuale Belegung der einzelnen Funktionsbereiche pro Tier und Tag im Liegeboxenlaufstall	150

	Seite
40: Häufigkeitsanalyse zur Charakterisierung des Liegeverhaltens	152
41: Anordnung der Liegeboxen im Versuchsstall (1 - 42 = Boxennummer)	157
42: Raster zur Auswertung von projizierten Bildvorlagen (Beispiel Liegeboxenlaufstall)	161
43: Reproduzierbarkeit des Kriteriums "Gesamtliegezeit pro Tier und Tag" bei verschiedenen Analysemethoden	164
44: Reproduzierbarkeit der "Zahl der Liegephasen pro Tier und Tag" nach verschiedenen Analysemethoden	164
45: Mittlere Fehlerbelastung der y-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall in Abhängigkeit von der Stalltiefe (b = 1,7 m)	169
46: Mittlere Fehlerbelastung der x-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall in Abhängigkeit von der Stallbreite (b = 1,7 m)	170
47: Schema zur manuellen Einmessung der Paßpunktkoordinaten und der Aufnahmeorte	182

<u>VERZEICHNIS DER TABELLEN</u>	Seite
1: Zahl der Laufstallbetriebe in der Bundesrepublik Deutschland	15
2: Technische Methoden zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens	21
3: Einsatzmöglichkeiten selektierter technischer Geräte und Systeme zur Standortbestimmung und Aktivitätserfassung in der ethologischen Versuchspraxis	22
4: Einsatzmöglichkeiten der Lichtschrankentechnik zur Registrierung von Versuchsabläufen	30
5: Kinematographische Registriergeräte für den Einsatz bei ethologischen Versuchen	39
6: Technische Geräte zur quantitativen Interpretation (photo-)graphischer Vorlagen	47
7: Vergleich zwischen Reprooptikbewerter und x;y-Koordinatendigitalisierer	53
8: Einsatzmöglichkeiten kinematographischer Hilfsmittel in der Tierbeobachtung	55
9: Beurteilung ausgewählter Registrier- und Analysemethoden zur Erfassung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall	58
10: Kenngrößen für das Programm "Stereoauswertung digitalisierter Bildpaare STERDI (nach AUERNHAMMER 1981/4/)	102
11: Aufbau einer Paßpunktdatei (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)	104
12: Struktur einer Näherungswertdatei (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)	105
13: Steuerparameter für STERDI (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)	107
14: Parameter zur Bestimmung des Verhaltens einer Milchkuhherde im Liegeboxenlaufstall	119
15: Technische Daten der Nicht-Meßkammern (35 mm Reihenbildkammern)	124
16: Technische Daten der verwendeten Weitwinkelobjektive	125
17: Geodätisch ermittelte Koordinaten der Standpunkte beider Nicht-Meßkammern	125

	Seite
18: Merkmale des Menüfeldes	129
19: Charakterisierung der Aktivitätscodes	130
20: Verwendete Aktivitätscodes zur Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall	131
21: Ablauf der Digitalisierung von Bildpaaren bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare	134
22: Aufbau einer Zwischendatei	137
23: Ergebnis der Stereoanalyse eines digitalisierten Bildpaares	139
24: Grenzwerte der Aktivitätscodes im Programm ZEIDIFS	144
25: Auszug aus einer tierspezifischen Ergebnisdatei (Kuh Nr. 33)	148
26: Literaturangaben verschiedener Liegeparameter	154
27: Tierspezifische Kennwerte des Liegeverhaltens im Liegeboxenlaufstall pro Tier und Tag (39 Kühe, Tier-Liegeplatz-Verhältnis 1:1)	156
28: Boxenspezifische Kennwerte beim Aufsuchen der Liegeplätze im Liegeboxenlaufstall pro Boxe und Tag (39 Kühe, Tier-Liegeplatz-Verhältnis 1:1)	158
29: Kennwerte für die Boxenbelegung im Liegeboxenlaufstall pro Tag	160
30: Durchschnittliche zeitliche Belegung der Funktionsbereiche im Liegeboxenlaufstall nach verschiedenen Auswertemethoden	163
31: Berechnung des geschätzten Fehleranteils bei der y-Standortkoordinatenbestimmung im Liegeboxenlaufstall (Normalfall)	168
32: Häufigkeitsanalyse der Vertrauensbereiche für die x;y;z-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall	172
33: Entwicklung der ausgeglichenen Näherungswerte (Koordinaten der Aufnahmeorte, Kammerdrehungen) während einer vierzehnstündigen Aufnahmeperiode (540 Bildpaare)	174
34: Zahl der Mehrfachdigitalisierung gleicher Standorte und/oder Aktivitätscodes während eines vierundzwanzigstündigen Bildanalyseprozesses (39 Kühe)	176

	Seite
35: Kalkulation des Zeitbedarfs bei der Anwendung der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall	178
36: Gerätetechnischer Aufwand bei der Anwendung der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall	179
37: Übersicht über verschiedene Bildaufnahme- und Bildwiedergabesysteme (nach SAACKEL 1981 /45/)	184

1. AUFGABENSTELLUNG

1.1 Einführung

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Jahre 1980 5 468 410 Milchkühe gehalten /12/. Davon standen 4 727 175 Kühe in Betrieben mit weniger als 40 Kühen, 741 235 Kühe in Betrieben mit mehr als 40 Kühen. Wenn die nach WENNER und SCHÖN (1973 /68/) laufstallwürdige Betriebsgrößeneinheit bei 40 Kühen pro Betrieb anzusiedeln ist, kämen im Jahre 1980 bereits ca. 740 000 Kühe für die Haltung in Laufstallsystemen in Frage. Exakte statistische Erhebungen über die tatsächliche Zahl der Betriebe mit Laufstallhaltung liegen jedoch mit Ausnahme für den Freistaat Bayern nicht vor (Tab.1).

Tabelle 1: Zahl der Laufstallbetriebe in der Bundesrepublik Deutschland

Bundesland	Zahl der Laufställe
Bayern ¹⁾	1 403
Baden-Württ. ²⁾	ca. 650
Hessen ²⁾	ca. 500
Niedersachsen ²⁾	ca. 2 000
Nordrh.-Westf. ²⁾	ca. 1 000
Rheinl.-Pfalz ²⁾	ca. 150
Saarland ²⁾	ca. 100
Schleswig-Holst. ²⁾	ca. 2 500
Summe	ca. 8 303

1) Auernhammer 1982 /5 /

2) Schätzwerte der Landwirtschaftskammern bzw. Landwirtschaftsministerien der einzelnen Bundesländer 1981

In der Bundesrepublik Deutschland ist im Jahre 1981 insgesamt mit einer Zahl von ca. 8 303 Laufstallbetrieben zu rechnen,

Die 1 403 Laufstallbetriebe (0,8 v.H. der milchviehhaltenden Betriebe) des Freistaates Bayern umfassen 56 626 Kühe (AUERN-HAMMER 1982 / 5 /). Da aus den übrigen Bundesländern gleichwertiges Datenmaterial nicht zur Verfügung steht, können nur Schätzwerte der jeweiligen Landwirtschaftskammern bzw. Ministerien als Vergleichsmaßstab herangezogen werden. Allgemein ist festzustellen, daß Bundesländer mit einem hohen durchschnittlichen Kuhbestand pro Betrieb (z.B. Schleswig-Holstein, Niedersachsen, Nordrhein-Westfalen) auch die größten Anteile hinsichtlich der Laufstallbetriebe aufweisen (/12/). Mit dem gegenwärtig zu verzeichnenden Trend der Konzentration der Milchviehhaltung ist eine Aufstockung der noch verbleibenden Betriebe zu erwarten, was sich in einer verstärkten Errichtung von Liegeboxenlaufställen niederschlagen dürfte.

Liegeboxenlaufställe moderner Prägung weisen im Vergleich zu herkömmlichen Ein- bzw. Zweiraumlaufställen einige Besonderheiten auf, die das Tier in seiner Lebensweise nachhaltig beeinflussen. Ursprünglich reichlich eingestreute Aufenthaltsflächen haben sich bei Liegeboxenlaufställen zu planbefestigten oder perforierten Laufgängen gewandelt. Den Tieren werden Einzelliegeplätze in Form abgetrennter Liegeboxen zur Verfügung gestellt, die das Liegen in gerichteter Position bedingen. Abliege- und Aufstehvorgänge sind durch Steuerungseinrichtungen, wie beispielsweise Nacken- und Nasenriegel sowie Bugkanten beeinflusst. Somit werden Tiere in modernen Liegeboxenlaufställen im Vergleich zum Einraumlaufstall oder zur Weide nicht nur mit einer räumlichen Einengung, sondern auch mit einer räumlichen Strukturierung konfrontiert.

1.2 Problemstellung und Zielsetzung

Während der zwanzigjährigen Entwicklung des Liegeboxenlaufstalles in der Bundesrepublik Deutschland haben sich in der Praxis "Standard-Grundrißkonzepte" eingeführt (KOLLER 1979 /31/). Diese sind in erster Linie von arbeitswirtschaftlichen und baukostenorientierten Gesichtspunkten geprägt (EICHORN 1965 /14/,

RÜPRICH 1967 /43/ und WANDER 1976 /66/). Auf diese Weise ist es gelungen, den Gesamtarbeitszeitbedarf im Liegeboxenlaufstall heute von ca. 37 Stunden (60 Milchkühe, 2 x 6 Fischgrätenmelkstand, 12 Melkeinheiten mit Abschaltautomatik) auf ca. 32 Stunden bei einem Bestand von 80 Kühen mittels moderner Fütterungs-, Entmistungs- und Milchentzugstechnologien zu senken (SAUER und AUERNHAMMER 1982 /51/). Die Ansprüche der Tiere an die Stallumwelt konnten nur unzureichend Berücksichtigung finden, weil bis heute darüber wenig Grundlagenmaterial zur Verfügung steht.

Parallel dazu besteht seit jeher die Tendenz, Kostensteigerungen im landwirtschaftlichen Bauwesen durch Reduzierung der angebotenen Lauf- bzw. Aufenthaltsflächen und durch die intensive Nutzung von Liege- und Freßplätzen (Einschränkung des Tierfreßplatz- bzw. Tierliegeplatzverhältnisses) zu kompensieren. Soll unter diesen Umständen im geschlossenen Liegeboxenlaufstall ein hohes Leistungsniveau erreicht werden, muß die Frage nach den Auswirkungen dieser veränderten Lebensbedingungen auf das Herden- und Individualverhalten gestellt werden.

Die Tatsache, daß ein abgesichertes, quantifiziertes Grundlagenmaterial nicht vorliegt, läßt sich z.T. mit methodischen Schwierigkeiten erklären, die in der Vergangenheit bei der Registrierung und Quantifizierung einzelner Parameter hinsichtlich der Komplexe Ernährung, Ausruhen und in besonderem Maße bei der Fortbewegung (Lokomotion) bestanden. Wenn jedoch auf eine Methode zurückgegriffen werden könnte, die die Anforderungen an eine gleichzeitige Registrierung und Quantifizierung des Freß-, Liege- und Lokomotionsverhaltens einer Herde von beispielsweise 40 Tieren erfüllt, ließen sich darüber hinaus diejenigen Einflüsse erforschen, die ein hohes bzw. niedriges Aktivitätsniveau einer Herde oder einzelner Tiere im Herdenverband hervorrufen. Die Ursachen eines hohen Aktivitätspegels könnten einerseits mit dem Auftreten von gesteigerten Verdrängungsaktivitäten an Freß- bzw. Liegeplätzen oder auf den Laufgängen zu erklären sein. In der Literatur gehen die Ansichten darüber weit auseinander. Nach GERSTLAUER (1980 /23/) ist eine Freßstelleneinschränkung von bis zu

1 : 3 bei der Anwendung geeigneter Fütterungsverfahren und sorgfältiger Tierbetreuung durchzuführen, ohne mit dem Auftreten von Verhaltensstörungen rechnen zu müssen. METZ und MEKKING (1978 /35/) kommen dagegen zu dem Schluß, daß bereits bei einem Tierfreßplatzverhältnis von 1 : 1 rangniedere Tiere bei Futteraufnahme deutlich benachteiligt werden. Diese Autoren halten sogar die Anbringung von Abtrennungen zwischen einzelnen Freßplätzen für unbedingt erforderlich. Ferner wird über eine Zunahme von Aggressionen sowohl an Futterplätzen als auch auf den Laufflächen berichtet.

Andererseits kann in diesem Zusammenhang auch das Unterschreiten von Ausweichdistanzen als Ursache angeführt werden. Natürliche Ausweichdistanzen auf der Weide liegen im Bereich von sechs bis sieben Metern, während in Stallgebäuden sich diese zwangsläufig reduzieren müssen. Nach SAMBRAUS (1973 /48/) liegen Ausweichdistanzen bei ein bis zwei Metern. Unter praktischen Verhältnissen werden Kühe aber gerade im Liegeboxenlaufstall mit Laufgangbreiten zwischen den Liegeboxenreihen von zwei bis drei Metern und Durchgängen zwischen Liegeboxenreihen im Bereich von 1 bis 1,5 m konfrontiert.

Unter dieser Zielsetzung war es zunächst notwendig, vorhandene Methoden auf deren grundsätzliche Eignung zur Ermittlung der angeführten Kriterien (Freß- bzw. Liegezeiten, Wegstrecken usw.) zu prüfen. Die Grundforderung besteht darin, sowohl eine Registrierung und Quantifizierung des Herdenverhaltens als auch des individuellen Einzeltierverhaltens im Liegeboxenlaufstall durchführen zu können. Die für diesen Zweck geeignete Methode muß in der Lage sein, Standort- und Aktivitätsanalysen für eine Mehrzahl von Tieren im gesamten Stallbereich mit hoher Präzision durchzuführen.

Bei der Prüfung verschiedener methodischer Wege hat sich gezeigt, daß die Nahbereichsphotogrammetrie aufgrund breit gefächerter Arbeitsmethoden sinnvoll einzusetzen ist, um Grunddaten für die Erstellung tierangepaßter Liegeboxenlaufställe zu erarbeiten. Ergebnisse aus der Anwendung von vereinfachten photogrammetrischen Meßverfahren in der Tierverhaltensforschung,

die die Bildmessung zweidimensional bzw. flächenhaft durchführen, liegen bereits vor (METZNER 1976 /36/, AUERNHAMMER 1980 / 3/). Eine Bildvermessung, wie sie die fachlichen Zielstellungen im Liegeboxenlaufstall erfordern, bedingt jedoch die Heranziehung höherwertigerer photogrammetrischer Verfahren. Diese sind dann in der Lage, eine dreidimensionale bzw. räumliche Bildmessung zu vollziehen. Die Vorstellung einer der photogrammetrischen Alternativen - die Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare - ist als das Ziel dieser Arbeit anzusehen. Neben der umfassenden Erläuterung der Bilderstellungs- und Bildanalysetechnik sowie der zugehörigen Softwarekomponenten, werden der Modus der Datenerfassung und -aufbereitung dargestellt. Einige Versuchsergebnisse des Liegeverhaltens vermitteln in beispielhafter Form einen Eindruck davon, welche zusätzlichen Auswertungsmöglichkeiten des mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erzeugten Datenmaterials gegeben sein können.

2. VERGLEICH DERZEITIGER UNTERSUCHUNGSMETHODEN

Die Erfassung und Quantifizierung des Tierverhaltens erfordert - in Abhängigkeit von der räumlichen Verteilung der zu registrierenden Verhaltensabläufe - die Anwendung differenzierter Arbeitsmethoden. Untersuchungen an sich fortbewegenden Tieren mit der Möglichkeit der Ausführung von gegenseitigen Interaktionen (Liegeboxenlaufstall) machen andere Versuchsmethoden notwendig als sie am fixierten Tier (Anbindestall) vorzunehmen sind. Bei der Durchführung von ethologischen Versuchen in zwei- oder dreireihigen Liegeboxenlaufställen muß davon ausgegangen werden, daß sich alle Herdenmitglieder innerhalb des gesamten Liege-, Fraß- und Laufbereiches frei bewegen können (Abb. 1).

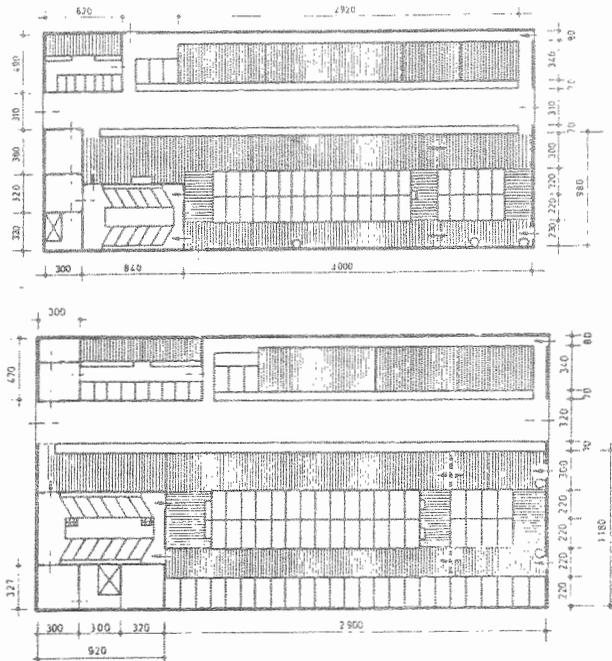


Abbildung 1: Grundriß eines zwei- bzw. dreireihigen Liegeboxenlaufstalles für Milchkühe (nach SCHÖN u. BOXBERGER 1980 /53/)

Die Liege-, Fraß- und Laufzonen in dem zweireihigen Liegebo-
 xenlaufstall für 40 Kühe umfassen insgesamt etwa 330 m²
 (8,3 m² pro Tier). Für die dreireihige Variante mit 60 Kühen
 wird eine Fläche von ca. 370 m² (6,2 m² pro Tier) erforder-
 lich. Jedem Einzeltier der Herde wird damit die Möglichkeit
 eingeräumt, innerhalb der vorgegebenen Fläche von beispiels-
 weise 330 m² die Standortwahl beliebig vorzunehmen. Die Stand-
 ort- und Aktivitätsanalyse wird neben dem Aspekt der räumli-
 chen Ausdehnung auch durch die Tatsache erschwert, daß im Be-
 obachtungszeitraum nicht nur ein Einzeltier, sondern eine
 Mehrzahl von Individuen gleichzeitig Standort- und/oder Akti-
 vitätswechsel vornehmen. Die kontinuierliche Erfassung und
 Quantifizierung aller herden- und individualspezifischer
 Kennwerte verursacht unter diesen Umständen einen höheren
 versuchstechnischen Aufwand.

Neben der visuellen Beobachtungsform mit Hilfe einer Beobach-
 tungsperson bzw. einem Team sind in der Vergangenheit eine
 Reihe technischer Methoden zur quantitativen und qualitativen
 Ermittlung von Verhaltensabläufen im Rahmen ethologischer Ver-
 suchsanstellungen diskutiert und teilweise praktiziert worden
 (Tab. 2).

Tabelle 2: Technische Methoden zur Registrierung und
 Quantifizierung des Tierverhaltens

Registrier- verfahren	Techn. Hilfsmittel	Zwischenspeicher	Daten-Output	Auswertungsverfahren
mechanisch	Rüttelrekorder Schrittmesser	Diagrammscheibe Zahlenwerte	Kurven, Linien	Kienzle-Auswerter manuelle Verarbeitung von Zahlenwerten
akustisch	Klangspektograph	Tonband	Klangmuster	Frequenzanalyser
elektronisch	Sender-Empfänger- Systeme, Teleme- trie, Radar	Meßschriebe Magnetbänder	Kurven	Transformation mit Integrator, x,y-Koor- dinatendigitalisierer
optisch	Lichtschranken- systeme, Kontroll- lampen, Motographie	Meßschriebe oder Impulszähler	analoge bzw. digitale Zahlenwerte	manuelle oder halbau- tomat. Verarbeitung mit analogen Auswertegerä- ten (x;y-Koordinaten- digitalisierer)
kinemato- graphisch	photographische Kammern (mit ver- schied. Bildformaten u. Filmmateri- alien) Fernsehbild- auswerter	Filmmaterial Magnetbänder	photogra- phische Bildvorlagen	x;y-Koordinatendigi- tal. u. Komperatoren (Mono-u. Stereokomp.) offline oder online mit Rechenanlagen, Reprooptikbewerter

Die Palette der technischen Hilfsmittel erstreckt sich von einfachen Geräten, wie z.B. Schrittmessern, bis hin zu photographischen Aufnahmegegeräten aus dem Bereich der Kinematographie. Als Zwischenspeicher des aufgezeichneten Datenmaterials fungieren Papiermeßschriebe, Magnetbänder oder photographische Informationsträger. Die Analyse der gespeicherten Informationen erfolgt entweder manuell oder durch halbautomatische Vorrichtungen, die im offline- oder online-Betrieb durchgeführt werden. Alle angeführten Registrier- und Auswertetechniken (Tab. 2) zeichnen sich durch spezielle Einsatzmöglichkeiten aus, so daß die konkreten Zielstellungen eines Versuchsprojektes darüber entscheiden, welche Methode die speziellen Problemstellungen am effektivsten lösen kann. Aus der Vielzahl der technischen Möglichkeiten müssen für den Einsatz im Liegeboxenlaufstall a priori diejenigen Verfahren ausgeschlossen werden, die eine quantifizierte Erfassung lokomotorischer sowie herden- und einzeltierspezifischer Aktivitäten überhaupt nicht zulassen (Tab. 3).

Tabelle 3: Einsatzmöglichkeiten selektierter technischer Geräte und Systeme zur Standortbestimmung und Aktivitätserfassung in der ethologischen Versuchspraxis

Techn. Hilfsmittel	Identifizierung	Standortbestimmung	Aktivitätserfassung
Schrittmesser	-	-	- (+)
Rüttelrekorder	-	-	+
Klangspektograph	-	-	-
Radarsysteme	- (+)	+	-
(photographische) Kontrollampensysteme	-	+	-

+ = geeignet; - = nicht geeignet; () = bedingt geeignet

Die Notwendigkeit der Identifizierung der Versuchsobjekte ergibt sich aus der Forderung nach einer tierindividuellen Analyse. Mit dem Begriff Standortbestimmung ist die Forderung impliziert, die Lokalisation von Objekten mit größtmöglicher Präzision koordinativ zu quantifizieren. Die Aktivitätserfassung ist soweit vorzunehmen, daß verschiedene, u.U. ortsgleiche

Verhaltensmuster wie z.B. Liegen, Stehen, Fortbewegung (Lokomotion) oder Aufenthalt am Freßgitter in eindeutiger Weise voneinander abzugrenzen sind.

Schrittmesser und Rüttelrekorder, die am Tier fixiert werden, registrieren Schwingungen oder Erschütterungen, die sich zwangsläufig bei Aktivitäts- und Lokomotionsphasen ergeben. Während der Schrittmesser die durch die Erschütterung verursachten Signale numerisch über ein Zählwerk weiterverarbeitet, zeichnet der von ZEEB 1972 /70/ modifizierte Rüttelrekorder die von den Erschütterungen ausgelösten Impulse auf einer Diagrammscheibe auf. Beide Geräte scheiden zum Zwecke der Standortanalyse aus. Der Schrittmesser läßt eine bedingte Erfassung von Aktivitäten, besonders der lokomotorischen Aktivitäten zu, wobei jedoch die Zuordnung der tatsächlichen Aktivitätsmuster zu den gezählten Ereignissen nicht möglich ist. Nach ZEEB 1972 /70/ ist der Rüttelrekorder in der Lage, Aktivitäten eines Tieres, wie gleichmäßiges Fressen, gleichmäßiges Laufen, Ruhen im Stehen, Ruhen im Liegen, Wiederkauen im Liegen über Zeiträume bis zu acht Tagen zu registrieren. Ein zeitlicher und informativer Engpaß ergibt sich in der Interpretationsphase des resultierenden Datenmaterials.

Der Klangspektograph ist ein Gerät aus dem Gebiet der Frequenz-Analysetechnik und dient im Rahmen der objektiven Geräuschidentifizierung zur Feststellung charakteristischer Klangmuster. Für die Durchführung von Standort- und Aktivitätsanalysen scheidet der Klangspektograph aus.

Radarsysteme (Radio Detection and Ranging) finden bevorzugte Anwendung bei der Regulierung und Überwachung des zivilen und militärischen Luftverkehrs sowie zum Zwecke der Verkehrsüberwachung im Straßen- und Schiffsverkehr. Neben der Geschwindigkeits- und Entfernungsmessung sind differenzierte Verfahren der Radartechnik in der Lage, metallische Objekte im Raum zu orten und deren Position koordinativ zu bestimmen (FELLER 1975 /17/.

Das Radarprinzip ist für die Erfassung komplexer, ortsgleicher Aktivitäten, wie z.B. Stehen oder Liegen in der Boxe, aufgrund der Vielzahl von metallischen Teilen und deren räumlicher Konzentration als ungeeignet einzustufen. Besonders nachteilig wirkt sich die Tatsache aus, daß Objekte bei der Ortung selbst anonym bleiben. Für den speziellen Zweck der militärischen und zivilen Luftraumüberwachung sind Identifizierungssysteme mit getrennten Abfrage- und Antwortsystemen entwickelt worden (FELLER 1975 /17/). Abgesehen vom technischen und finanziellen Aufwand, den diese hochkomplizierten Anlagen bedingen, ist die zusätzliche Anbringung von technischem Gerät am Tierkörper erforderlich, was über längere Perioden als äußerst problematisch anzusehen ist.

Kontrolllampensysteme können entweder ortsfest oder an mobilen Versuchsobjekten fixiert werden. Mit der stationären Anbringung von Kontrolllampen an wichtigen Positionen im Raum wird nur anonym angezeigt, daß sich ein Objekt im Erfassungsbereich aufgehalten hat. Damit entspricht dieses Funktionsprinzip dem des einfachsten Lichtschrankensystems. Bedingt durch die Anordnung der Kontrolleuchten ist die Standortbestimmung vorprogrammiert. Eine eindeutige Aktivitätsbeschreibung ist mit dem technisch einfach konzipierten Kontrollsystem nicht vorzunehmen.

Von der Anbringung der Kontrolllampen am Objekt selbst wird bei der Erstellung von Lichtspuraufnahmen zur Bewegungsaufzeichnung Gebrauch gemacht (Spurphotographie oder Zyklographie). "Dabei werden Relativbewegungen zwischen einem mit Lämpchen bestückten Körper und einer Photokamera über die Öffnungsdauer des Verschlusses als Spuren der sichtbaren Strahlung aufgezeichnet" (BAUM 1978 / 6 /). Die daraus resultierenden Spurbilder zeichnen zweidimensional den Bewegungsverlauf des Objektes über eine bestimmte Periode als Lichtspur auf. Der bisherige Nachteil dieses Verfahrens - die erforderliche Dunkelheit bei der Aufnahme - ist durch Modifikation dieser Technik soweit kompensiert, daß heute mit der Motographie (Aufzeichnung von Bewegungen) in der Arbeitswissenschaft auch bei Dauerbeleuchtung während der Aufnahme neben der zweidimensionalen

Registrierung sogar eine dreidimensionale Bewegungsaufzeichnung (Stereomotographie) möglich ist.

Die Anwendung der Motographie zum Zwecke der gleichzeitigen Standorts- und Aktivitätsanalyse einer Vielzahl von Objekten im Liegeboxenlaufstall scheidet aus aufgrund der nicht durchführbaren Zuordnung von Lichtspur zu Meßobjekt bzw. Lichtspur zu ausgeführter Aktivität. Eine zusätzliche Schwierigkeit muß in der Anbringung des Kontrolllampensystems am Tier selbst gesehen werden.

Für die Durchführung von Standort- und Aktivitätsanalysen stehen demnach nur die visuelle Dauerbeobachtung, die Lichtschrankentechnik, die Telemetrietechnik sowie kinematographische Registriereinrichtungen zur Verfügung. Das Funktionsprinzip dieser Alternativen bedarf einer näheren Beschreibung, um aufbauend auf diesen Erkenntnissen das geeignete Verfahren zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall selektieren zu können.

2.1 Visuelle Beobachtung

Das Verfahren der visuellen Beobachtung wird besonders im ethologischen Bereich zur qualitativen und quantitativen Bewertung des Tierverhaltens herangezogen. Für die Spezies "Rind" liegen eine Reihe von Ergebnissen systematischer Versuchsdurchführungen vor (SAMBRAUS 1970 /47/, SÜSS 1971 /61/ und 1973 /62/). Darüber hinaus liefert das visuell bzw. mental erfaßte Versuchsgeschehen wertvolle Entscheidungshilfen bei der Auswahl einer technischen Registriermethode (BOXBERGER 1972 /8 /).

Für die systematische Erfassung des Tierverhaltens bieten sich zwei Möglichkeiten an:

1. Diskontinuierliche Registrierung (Tortenstückmethode)
2. Kontinuierliche Registrierung

Die diskontinuierliche Beobachtungsform ist dadurch charakterisiert, daß die Datenerfassung in mehreren, zeitlich unterbrochenen Perioden vorgenommen wird. Nach SÜSS 1973 /62/ ist

die intervallmäßige Kurzzeitbeobachtung im Vergleich zur kontinuierlichen Beobachtung einfacher und übersichtlicher. Die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse ist jedoch für verschiedene Fragestellungen als nicht ausreichend zu betrachten (RÜPRICH 1968 /44/). Nach Untersuchungen von FISCHER 1978 /19/ muß bei der Anwendung der diskontinuierlichen Beobachtungsform im Vergleich zur kontinuierlichen ein Informationsverlust von 10 bis 15 v.H. in Kauf genommen werden. Anzumerken ist aber, daß dieser zehn- bis fünfzehnprozentige Informationsverlust bei der "Tortenstückmethode" nicht als absolut betrachtet werden kann, da die Beobachtungszeiträume unterschiedlich sind.

Die kontinuierliche visuelle Beobachtung registriert Verhaltensabläufe von Tieren über eine bestimmte Periode von z.B. 24 Stunden in zusammenhängender Form. Die Beobachtungsperson übernimmt dabei folgende, zeitgleich ablaufende Funktionen:

- Kontinuierliche visuelle Erfassung des Beobachtungsgegenstandes und Herausfiltrieren der essentiellen Informationen aus dem erlebten Gesamteindruck.
- Aufzeichnung der mental gespeicherten Informationen in schriftlicher Form in einem Versuchsprotokoll oder durch Besprechen eines Tonbandes.

Die kontinuierliche Beobachtung stellt grundsätzlich eine zu prüfende Alternative zur Erarbeitung individueller Tagesaktogramme von Kühen im Liegeboxenlaufstall dar. Bei der Durchführung langfristiger visueller Dauerbeobachtungsperioden ist neben der Berücksichtigung organisatorischer Gesichtspunkte (Standort der Beobachtungsperson(en), eindeutige Markierung der Versuchstiere, Beleuchtung während nächtlicher Beobachtungszeiträume) die Beachtung derjenigen Faktoren von Bedeutung, die den personellen Aufwand bestimmen, wie beispielsweise Dauer der Beobachtungsperiode, Zahl der simultan zu überwachenden Versuchsobjekte, Komplexität der Fragestellungen sowie räumliche Ausdehnung der Beobachtungsfläche.

Eine Beobachtungsperiode soll grundsätzlich - unabhängig von der eingesetzten Beobachtungsmethodik - mindestens 24 Stunden umfassen, damit der natürliche biologische Tagesrhythmus

der Tiere vollständig erfaßt werden kann (SCHOLZ et al. 1964 /52/, WANDER 1965 /65/, MARTINOT 1966 /34/, RÜPRICH 1967 /43/). Dies erfordert den Einsatz eines fachkundigen Beobachtungsteams. Ein einzelner Beobachtungsabschnitt sollte nicht länger als 4 bis 6 Stunden dauern. Wenn während eines vierundzwanzigstündigen Beobachtungszeitraums eine Person die Beobachtungsfunktion je zweimal für 4 bis 6 Stunden übernimmt, muß das Team insgesamt 2 bis 3 Personen umfassen (WANDER 1965 /65/, RÜPRICH 1967 /43/, SÜSS 1973 /62/). Eine über die Zeitspanne von 4 bis 6 Stunden hinausgehende Beobachtungsphase zieht eine Verminderung des Aufnahme- und Konzentrationsvermögens nach sich, so daß eine zuverlässige Erfassung der nicht reproduzierbaren Vorgänge nicht mehr gewährleistet ist.

Die visuelle Beobachtungsform bietet folgende Vorteile:

- niedriger gerätetechnischer Aufwand
- zusätzlicher Informationsgewinn aus der Aufzeichnung von Ereignissen oder Vorgängen, die sich u.U. unter dem Einfluß von methodisch oder technisch bedingten Erfassungsintervallen zwischen diesen ereignen können
- direkte Zugriffsmöglichkeiten zum schriftlich oder akustisch dokumentierten Datenmaterial
- schnelle Auswertung unmittelbar im Anschluß an die Versuchsanstellung, wenn die Quantität und die Qualität der erfaßten Merkmale dies zulassen.

Ein entscheidender Unsicherheitsfaktor, der der visuellen Beobachtung generell anhaftet, ist jedoch der Mensch in seiner Eigenschaft als Beobachter (AUERNHAMMER 1981 /4 /). Eine realistische Quantifizierung der Fehlentscheidungen, die einzelnen Beobachtungspersonen während der Beobachtungsphasen unterlaufen, stellt sich als äußerst schwierig heraus, da die jeweiligen Beobachtungszeiträume anderweitig nicht reproduziert oder kontrolliert werden können. Das erfaßte Datenmaterial unterliegt damit subjektiven Entscheidungseinflüssen und wird zusätzlich vom Aufnahmevermögen der jeweiligen Beobachtungspersonen beeinflusst. Besonders trifft dieser Sachverhalt für Situationen zu, die kontinuierlich ineinander übergehen, oder für Aktivitäten, deren Phasenlänge im Sekundenbereich liegt.

Aus diesem Sachverhalt ergibt sich ein gravierender Nachteil dieser Beobachtungsform, da das von mehreren Personen aufgezeichnete Datenmaterial nicht unbedingt vergleichbar und nach objektiven Kriterien zu analysieren ist (RÜPRICH 1967 /43/, ZEEB 1972 /70/).

Der erforderliche Arbeitsaufwand bei der Durchführung der visuellen Dauerbeobachtungsmethode kann sich besonders in der Phase der Aufbereitung der schriftlich fixierten Daten negativ auswirken (SEUFERT 1971 /55/, SÜSS 1971 /61/, BOXBERGER 1972 / 8/). Die Analyse des in der Regel in Protokollform niedergelegten Zahlenmaterials setzt die manuelle Eingabe dieser Informationen über die Tastatur einer Rechenanlage voraus, wenn umfangreiche Daten ausgewertet und statistisch abgesichert werden müssen. Manueller Datentransfer ist personal- und zeitaufwendig und begünstigt das Auftreten von Übertragungsfehlern. Unsichere oder fehlerhafte Aufzeichnungen können nicht aufgedeckt oder korrigiert werden, weil eine Kontrolle aufgrund unmöglicher Nachvollziehbarkeit der im Versuch beobachteten Situationen ausgeschlossen ist. Eine von ORDOLFF 1973 /39/ zur Messung des Arbeitszeitbedarfs beim Melken entwickelte Zeitstudientechnik kann die Nachteile des manuellen Datentransfers sowie das Auftreten anderer Fehler einschränken. Diese Technik ermöglicht eine lückenlose Aufzeichnung von Arbeitsgängen oder Handlungen auf Magnetband mit anschließender maschineller Auswertung (Mehrkanalschreiber). Sobald jedoch die Zahl der zu erfassenden Handlungen, oder Handlungsabschnitte, die jeweils durch ein definiertes Signal (Frequenz) charakterisiert sind, zunimmt (z.B. 10 Tiere, 10 verschiedene Verhaltensmuster), reicht eine einzelne Person bzw. eine Registriereinheit (1 Tastenfeld in Verbindung mit dem Aufzeichnungsgerät) nicht mehr aus, um mehrere, gleichzeitig ablaufende Informationen vollständig über die Tastatur festzuhalten. Entsprechend der Zunahme der Erfassungskriterien steigt der technische Aufwand an.

Ein mögliches Einsatzfeld der visuellen Dauerbeobachtung ist gegeben, wenn ortsgebundene, abgegrenzte Verhaltensmerkmale

mit Ja- oder Nein-Entscheidungen eindeutig zu beschreiben sind. Unter diesen Bedingungen kann in der Regel mit einem geringen personellen Aufwand ein zuverlässiges Datenmaterial erstellt werden. Hervorzuheben ist die Tatsache, daß bei der Erfassung von ortsgebundenen Merkmalen (z.B. Freßzeiten von Kühen an einer Kraftfutterstation im Laufstall, Liegezeiten von Kühen in einer Liegeboxe) die Zahl der Versuchstiere sehr umfangreich sein kann, da sich jeweils nur ein einzelnes Tier innerhalb der betreffenden Beobachtungszone aufhalten kann. Die visuelle Registrierung und Quantifizierung von Verhaltensweisen, die einzelne Tiere oder auch mehrere Tiere eines Herdenverbandes auf ausgedehnten und z.T. unübersichtlichen Bewegungsflächen eines Liegeboxenlaufstalles (vgl. Abb. 1) ausführen können, erfordert einen hohen personellen Aufwand. Im Extremfall kann die Registriertätigkeit für das Einzeltier soweit ansteigen, daß für jedes Tier der Versuchsgruppe eine Beobachtungsperson einzuplanen ist.

2.2 Lichtschrankentechnik

Das Funktionsprinzip der Lichtschrankentechnik basiert auf der Verwendung von Lichtwellen aus dem infraroten Spektralbereich. Ein Lichtgeber sendet einen scharf gebündelten Lichtstrahl aus. Der gegenüberliegend angebrachte Empfänger nimmt den Strahl auf und reflektiert diesen zum Lichtgeber. Der Vorgang der Unterbrechung des Lichtstrahles durch ein Versuchsobjekt wird als Signal für das Auftreten eines Ereignisses betrachtet. Die Lichtschrankentechnik ist als ein stationär arbeitendes Verfahren anzusehen, das Ereignisse oder Zustände im Erfassungsbereich der Registriereinheit(en) festhält.

In der Tierverhaltensforschung wurde mit der Lichtschrankentechnik bereits in den sechziger Jahren experimentell gearbeitet (WANDER 1965 /65/). Die in der ethologischen Versuchspraxis eingesetzten Varianten der Lichtschrankentechnik können differenziert werden nach der Zahl der verwendeten Lichtschrankeneinheiten (Tab. 4).

Tabelle 4: Einsatzmöglichkeiten der Lichtschrankentechnik zur Registrierung von Versuchsabläufen

Zahl der Lichtschrankelemente	Art der Datenregistrierung	Techn. Registriereinrichtungen	Datenträger
1	Zählen von Einzelimpulsen	Zählschaltungen + Elektronik, Mehrkanalschreiber	mechanische Zählwerke
1	photograph. Dokumentieren von Versuchsabläufen	Registrier-, Film- oder Video-Kameras	photograph. Aufnahmematerialien
mehrere z.B. 147 (GERSTLAUER 1980 /23/)	Registr. aller Einzelimpulse bzw. aktives Abfragen der einzelnen Meßstationen	Zentraleinheit	Papiermeßschiebe, Digitaldrucker, Lochstreifen, Magnetbänder, Disketten

Die niedrigste Stufe der Lichtschrankentechnik besteht in der Verwendung einer Lichtschrankeinheit, die aus einer einzelnen Sender-Empfänger-Einheit zusammengesetzt ist (Abb. 2).

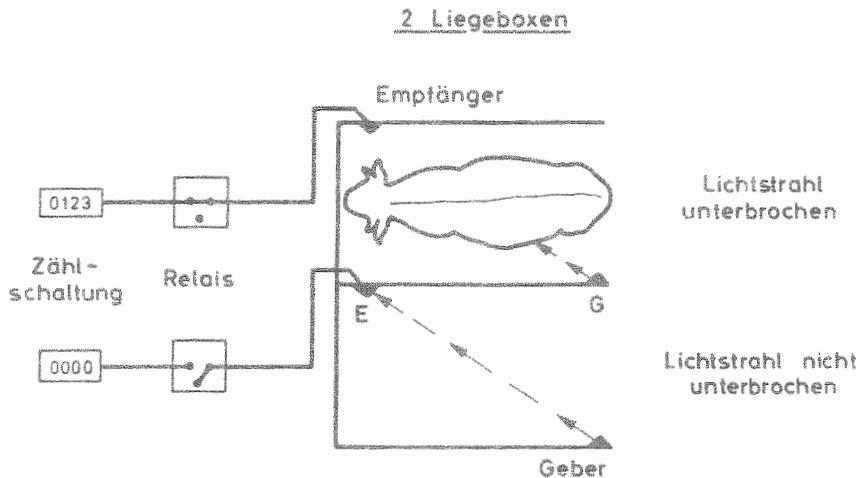


Abbildung 2: Funktionsprinzip einer Lichtschrankeinheit in einer Liegeboxe (nach WANDER 1976 /66/)

Der Lichtgeber (G) ist in diesem speziellen Anwendungsfall diagonal zum Empfänger (E) in der Liegeboxe montiert. Mit dem Betreten der Liegeboxe unterbricht ein Tier den Lichtstrahl und löst mit dieser Unterbrechung einen Impuls aus, der von einer Zählhaltung (Z) registriert wird. Der gleiche Vorgang wiederholt sich, wenn das Tier die Boxe wieder verläßt und damit der Lichtstrahl wieder hergestellt wird. Dieses Lichtschrankelement registriert so in Verbindung mit Zählhaltungen das Eintreten wiederholter identischer Ereignisse in einer räumlich begrenzten Zone, wie beispielsweise das Aufsuchen einer Liegeboxe, ohne dabei jedoch das betreffende Tier zu identifizieren. Wenn im Rahmen einer Versuchsanstellung einer Mehrzahl von Tieren die Möglichkeit eingeräumt wird, die Lichtschranke zu unterbrechen, so können die aufsummierten Signale nicht bestimmten Einzeltieren, sondern lediglich der Gruppe zugeordnet werden. Eine realistische Registrierung kann jedoch nur dann gewährleistet werden, wenn die von einer Lichtschranke erfaßte Zone gleichzeitig nur von einem Versuchsobjekt betreten werden kann. Diese Forderung bestimmt zugleich die maximale räumliche Ausdehnung der Registrierzone.

Eine gezielte Identifizierung der Tiere, die zum Zeitpunkt der Unterbrechung der Lichtschranke eine bestimmte Tätigkeit ausüben oder in einem bestimmten Zustand verharren, ist möglich, wenn synchron dem Vorgang der Unterbrechung der Lichtschranke ein optisches Aufzeichnungsgerät, wie z.B. eine Registrierkamera, in Funktion gesetzt wird. Diese dokumentiert das Versuchsgeschehen auf einem photographischen Datenträger. Eine derartige Versuchseinrichtung wurde bei den Untersuchungen zur Trinkwasseraufnahme von Rindern im Liegeboxenlaufstall angewendet (BOXBERGER u. ZIPS 1979 /10/, Abb. 3).

Im Blockschalbild ist links der Wassertrog mit der Lichtschrankeneinheit dargestellt, rechts wird die Datenregistrierung mit einer Registrierkamera symbolisiert. Die im Trog befindliche Wassermenge wird kontinuierlich gewogen und das aktuelle Gewicht über eine Digitalanzeige ausgegeben. Die Identifizierung der betreffenden Kuh während der Trinkwasseraufnahme sowie die Dokumentation anderer Versuchsdaten (z.B.

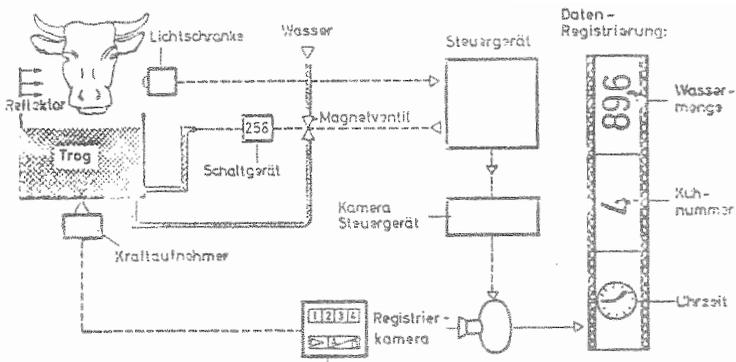


Abbildung 3: Datengewinnung bei Untersuchungen zur Trinkwasseraufnahme von Milchkühen im Laufstall (Blockschaltbild)

Wassermenge, Uhrzeit) erfolgt durch zwei Photos, die die Registrierkamera zum Zeitpunkt des Aufsuchens und des Verlassens erstellt. Die Auslösung der Registrierkamera wird über den von der Lichtschrankenanlage übermittelten Impuls gesteuert. Die Funktion der diskontinuierlich arbeitenden Registrierkamera könnte jedoch ebenso von einer kontinuierlich arbeitenden Registriertechnik (Videoanlage, Filmkamera) übernommen werden. Somit wären auch Situationen zu dokumentieren, die sich zwischen den Schaltzeitpunkten der Lichtschranke ereignen.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die betreffende Registriertechnik auch innerhalb anderer Zonen des Liegeboxenlaufstalles (z.B. Freß- oder Liegeplätze sowie Teilbereiche von Laufgängen) zu installieren, um das Tierverhalten individuell zu erfassen. Diese Alternative findet jedoch dann ihre technischen und materiellen Grenzen, wenn mehrere Registrierkameras zur gleichzeitigen Überwachung einer größeren Zahl von separaten Zonen erforderlich werden.

Die Kombination einer Mehrzahl von Lichtschrankeneinheiten zu einem Gesamtsystem kann aus zwei Gründen notwendig werden. Ortsspezifische Versuchs-kriterien, die sich aus mehreren Teilabschnitten zusammensetzen können, wie z.B. Stehen oder Liegen

in einer Liegeboxe sowie Fressen oder Aufenthalt am Freßgitter, bedingen den Einsatz mehrerer Registriereinheiten in verschiedenen Ebenen, um die unterschiedlichen Phasen einer Tätigkeit eindeutig voneinander differenzieren zu können. Die Registrierung von Situationen, die simultan innerhalb mehrerer, räumlich getrennter Überwachungszonen (z.B. Liegeboxen, Freßplätzen, Teilen von Laufgängen) eintreten können, macht ebenfalls die Installation eines kombinierten Lichtschrankensystems erforderlich. GERSTLAUER 1980 /23/ hat zur Erfassung des Liege- und Freßverhaltens in einem Liegeboxenlaufstall ein Lichtschrankensystem von insgesamt 147 Einzelelementen verwendet. Davon waren 120 Elemente in den Liegeboxen und 27 am Freßgitter angebracht. Ein derartiges automatisiertes Datenerfassungssystem erfordert jedoch die Verwendung einer finanziell sehr aufwendigen Zentraleinheit. Entsprechende Anlagen lassen sich soweit automatisieren, daß alle eingehenden Einzelimpulse des gesamten Systems gesammelt werden, die dann mit Hilfe von computergestützten Systemen auf entsprechenden Datenträgern (Papiermeßschriebe, Digitaldrucker usw.) gespeichert und ggf. direkt aufbereitet werden. Es sind aber auch Systeme erprobt worden, die routinemäßig in bestimmten Zeitintervallen die Meßstationen abfragen und nur diejenigen Daten aufzeichnen, die im Sinne der jeweiligen Versuchsanstellung als wichtig zu betrachten sind.

2.3 Telemetrie

Die Telemetrie führt eine drahtlose Informationserfassung und -übertragung durch und bedient sich dabei elektromagnetischer Wellen innerhalb charakteristischer Frequenzbereiche und Wellenlängen. Ein besonderer Vorzug der Telemetrie liegt darin begründet, "Meßdaten in ihrer vollen Originalität, direkt am Meßort in unverfälschter Form erfassen zu können bzw. ungewöhnliche Meßdaten, die auf herkömmlichem Wege nicht zuerhalten sind, risikolos und neutral zu registrieren" (PAULI 1980 /40/). Ferner zeichnet sich die Telemetrie dadurch aus, daß die Reichweite zwischen dem Ort der Datenerzeugung und dem Ort der Datenkollektion variabel gewählt werden kann. Entsprechend der

Länge der auftretenden Sendestrecken wird zwischen der Nahfeldtelemetrie (weniger als 100 m) und der Fernfeldtelemetrie (100 m bis 100 km) unterschieden. Aus der Anwendung entsprechender Verfahren im biologischen Bereich hat sich eine Sonderform der Telemetrie entwickelt, die Radiotelemetrie, deren primärer Einsatzschwerpunkt in der Standortbestimmung mobiler Objekte zu sehen ist. Mit dem Einsatz höherwertiger Sendeeinheiten besteht die Möglichkeit, über die Standortanalyse hinaus begleitende Aktivitätsstudien durchzuführen (GEORGII u. SCHRÖDER 1978 /22/). Ein weiterer Schwerpunkt des Einsatzes der Radiotelemetrie liegt in der Übertragung physiologischer Meßwerte von freilebenden und domestizierten Tieren (EICHINGER 1977 /16/, GEORGII 1979 /21/, ANDREAE 1981 /1/).

Ein Radiotelemetriesystem setzt sich prinzipiell zusammen aus einer Sendeeinheit und einer räumlich getrennten Empfangseinheit, die beide mit entsprechenden Antennen ausgerüstet sein müssen (Abb. 4).

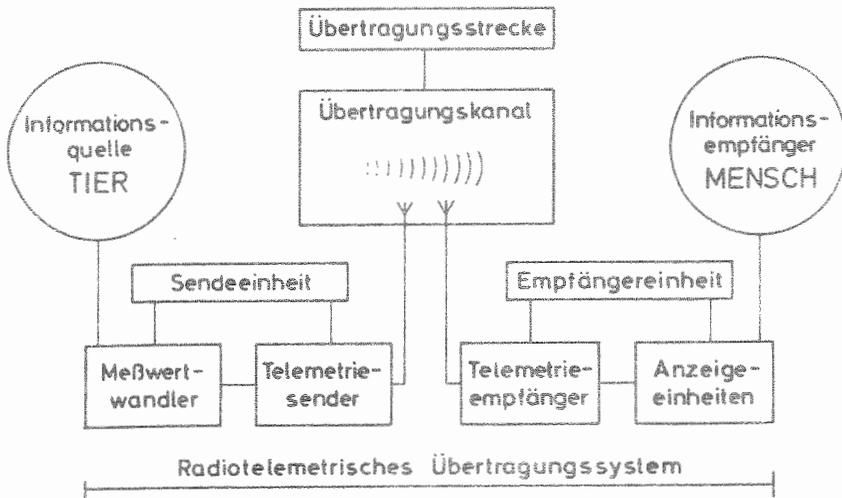


Abbildung 4: Blockschema einer Radiotelemetrieanlage (nach GEORGII 1979 /21/)

Als Verbindungsglied zwischen der Sende- und Empfangereinheit fungiert die Übertragungsstrecke (Funkstrecke, Kabel, Transport von Magnetbändern), die den Datenfluß der codierten

Informationen von einem oder mehreren Versuchsobjekten zum Empfänger der Information sicherstellt. Die Kodierung der Meßgrößen in Form elektrischer Signale ist als eine Grundvoraussetzung des telemetrischen Funktionsprinzips anzusehen.

Praktische Erfahrungen bezüglich des Einsatzes radiotelemetrischer Verfahren in Liegeboxenlaufställen unter den vorgegebenen fachlichen Zielstellungen liegen bisher nicht vor. Es besteht deshalb z.Zt. nur die Möglichkeit, auf theoretischer Basis den Einsatz entsprechender Systeme zu erörtern. Neben der Auswahl der Sendefrequenzen ist der Energieversorgung der eingesetzten Funktionselemente (Sende- und Empfängereinheiten) sowie möglichen Störfaktoren (Reflektions- und Interferenzerscheinungen) besondere Beachtung zu schenken. Die Verwendung von Frequenzen im Giga-Hertz-Bereich, die vom Gesetzgeber für telemetrische Zwecke reserviert sind, ist als ein akzeptabler Kompromiß einzustufen, da sich einerseits unter dieser Konstellation kompakte Sende- und Empfangsantennen in die Sende- und Empfängereinheiten integrieren lassen, andererseits damit jedoch auch zufriedenstellende Sendeleistungen zwischen Sender und Empfänger realisiert werden können. Hinsichtlich der Energieversorgung ergeben sich insofern Probleme, da mit wachsender Sendedauer und stärkerer Sendeleistung auch das Volumen und das Gewicht der Sendeeinheiten ansteigt. Dem Grad der Miniaturisierung sind durch die damit verbundene abnehmende Sendeleistung Grenzen gesetzt. Die räumlich konzentrierte Vielzahl metallischer Einrichtungen im Liegeboxenlaufstall (Boxenabtrennungen, Bewehrungen in Betonteilen) begünstigen das Auftreten von Reflektionen der u.U. hohen Anzahl von Frequenzen. Interferenzerscheinungen können sich derart auswirken, daß Signale sich auslöschen, wenn Objekte dicht gedrängt stehen oder ihren Standort in unmittelbarer Nähe zu Metallteilen wählen. Gerade diese Situation ist aber häufig im Liegeboxenlaufstall anzutreffen. Beide Sachverhalte verursachen nicht kontrollierbare Fehlinterpretationen der Meßsignale, wenn eine Vielzahl von Meßobjekten und mehrere komplexe Parameter für jedes einzelne Meßobjekt zu erfassen sind. Diese Begleitumstände sind zu beachten, wenn nachfolgend zwei radiotelemetrische

Überwachungssysteme, die ausschließlich auf theoretischen Überlegungen beruhen, für den möglichen Einsatz im Liegeboxenlaufstall vorgestellt werden.

Verfahren I

Bei dieser Methode wird jedes einzelne Meßobjekt mit einem Telemetriesender ausgestattet (Abb. 5).

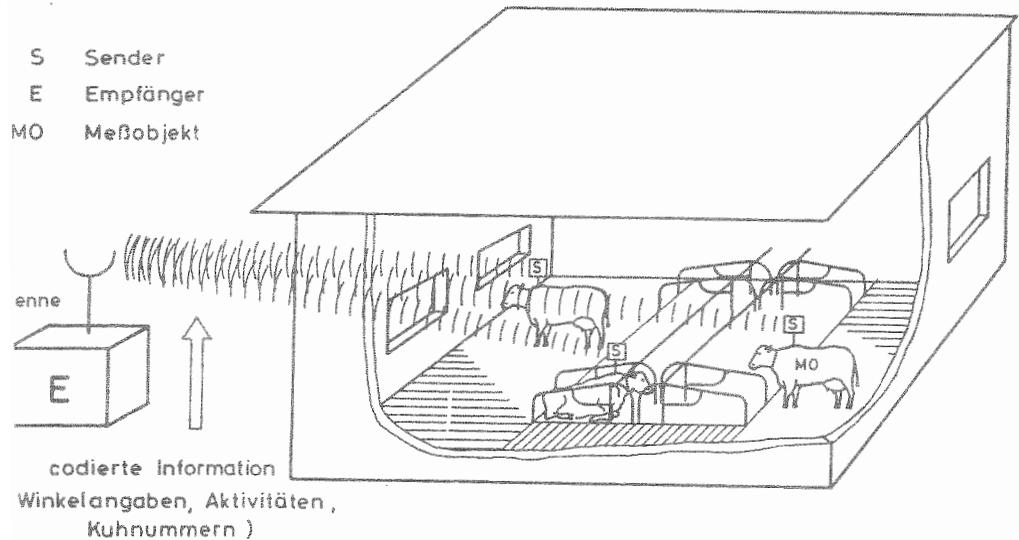


Abbildung 5: Telemetrische Datenerfassung im Liegeboxenlaufstall (Sender mobil, Empfänger stationär)

Der Sender jedes Meßobjektes strahlt kontinuierlich oder intervallmäßig eine definierte Energiemenge in Form einer Hochfrequenz aus. Nach dem Modulationsvorgang ist die Hochfrequenz mit einem bestimmten Informationsgehalt (z.B. Kuhnummer, Winkelmaße, jeweiliger Aktivitätsstatus des Meßobjektes) versehen. Mit Hilfe der gemessenen Winkel, die sich aus dem bekannten Standort des Telemetrieempfängers und dem jeweiligen Standort des Meßobjektes ergeben, läßt sich in der späteren Phase der Datenaufbereitung die Standortbestimmung der Meßobjekte vornehmen. Die Aktivitätserfassung, die als Ergänzung zur qualitativen und quantitativen Beurteilung der ermittelten Standorte der einzelnen Meßobjekte notwendig erscheint,

erfordert eine weitere technische Einrichtung. Dafür geeignet sind Sensoren, die am Tierkörper zusätzlich zur Empfangs- oder Sendeeinheit fixiert werden könnten. Die jeweilige Höhendifferenz zwischen dem Sensor und der Bezugsebene am Versuchsort zum Zeitpunkt der Datenübertragung ließe eine indirekte Aussage über die gerade ausgeführte Aktivität zu. Der Wert der Höhendifferenz, der in diesem Fall die z-Koordinate repräsentieren würde, entscheidet beispielsweise darüber, ob das Meßobjekt "Kuh" steht oder liegt. Eine weitergehende Spezifizierung ortsgebundener Aktivitäten, wie z.B. Futteraufnahme oder Aufenthalt am Freßgitter, ist nicht eindeutig vorzunehmen.

Ein Telemetrieempfänger, der außerhalb des Stallgebäudes angeordnet sein könnte, nimmt die vom Sender ausgestrahlte Energie auf. Nach der Demodulation (Entschlüsselung) der ursprünglich in codierter Form vorliegenden elektrischen Signale in der Phase der Datenaufbereitung liegen echte Informationen vor (Kuhnummern, Standorte von Meßobjekten, sowie ausgeführte Aktivitäten zu bestimmten Zeitpunkten).

Dieser Lösungsweg zeichnet sich durch einen relativ geringen Bauaufwand aus. Nachteilig ist die Tatsache, daß alle Sendeeinheiten ständig betriebsbereit gehalten werden müssen. Die damit erforderliche Eigenenergieversorgung (z.B. Batterie) fördert jedoch die Gefahr der Reflektion der verschiedenen Hochfrequenzen, die gleichzeitig in einem sehr engen Frequenzspektrum auftreten. Eine entsprechende Sendeeinheit ließe sich nach dem heutigen Entwicklungsstand der Elektronik mit einem Gewicht von etwa 500 gr konstruieren. Die äußere Form wäre etwa vergleichbar den Abmessungen einer Zigarettschachtel.

Verfahren II

Das Alternativverfahren basiert auf der Anordnung eines Telemetriesenders außerhalb des Stalles. Dieser strahlt in systematischer Reihenfolge Teilbereiche des Stallraumes an (Abb.6). Die Telemetrieempfänger wären in diesem Falle an den Meßobjekten fixiert. Aufgrund der lokomotorischen Aktivitäten nehmen Tiere ständige Orts- und Aktivitätswechsel vor, so daß jeder

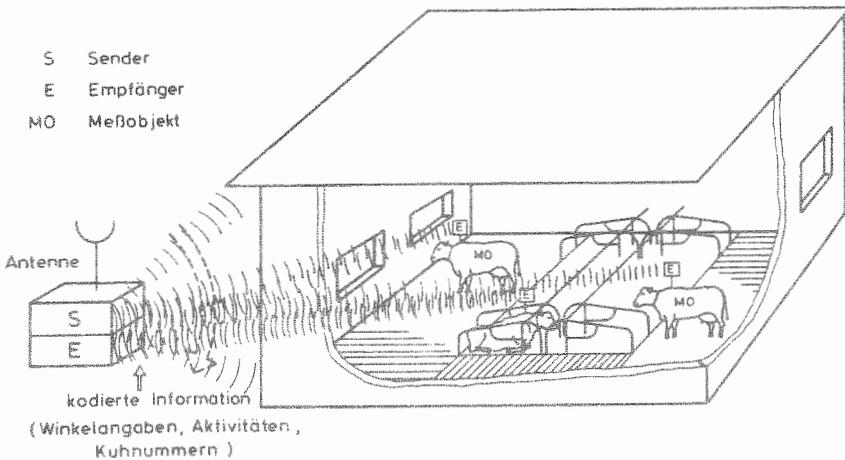


Abbildung 6: Telemetrische Datenregistrierung im Liegeboxenlaufstall (Sender stationär, Empfänger mobil)

Telemetrieempfänger auf die für ihn passende Frequenz reagiert. Der Empfänger wandelt bzw. moduliert die entsprechende Frequenz individuell in die entsprechenden Codes und sendet die codierten Informationen an die autonome Empfangseinheit zurück.

Dieses Verfahren, das man als "Transponderlösung" bezeichnen könnte, erfordert die Betriebsbereitschaft nur derjenigen Sendeeinheit, die gerade angestrahlt wird. Die Gefahr der Reflektion ließe sich damit einschränken. Das Gewicht einer derartigen Empfangseinheit wäre mit etwa 500 g zu veranschlagen. Der Einbau einer Antenne bedingt jedoch veränderte äußere Abmessungen, die sich beispielsweise in einer zylindrischen Form niederschlagen könnten (z.B. 15 bis 20 cm Länge, ca. 5 cm Durchmesser).

Im Falle einer praktischen Umsetzung der angeführten Verfahrensalternativen wäre folgenden Problemkreisen besondere Beachtung beizumessen:

- Funktionssicherheit telemetrischer Systeme unter schwierigen mikroklimatischen Umweltbedingungen
- Unsicherheiten bei der Abgrenzung einzelner ortsgleicher Aktivitätsmuster (z.B. Stehen oder Liegen in einer Boxe)
- erzielbares Genauigkeitsniveau bei der Standortbestimmung.

2.4 Kinematographische Registriergeräte

Kinematographische Registriergeräte (Film- und Videokameras sowie Photoapparate) dokumentieren Situationen und Verhaltensabläufe in bildlicher Form. Das Bild als objektiver Datenspeicher vermag eine Vielzahl von simultan ablaufenden Ereignissen wertfrei und neutral aufzuzeichnen und eröffnet die Möglichkeit, das Versuchsgeschehen nachträglich zu reproduzieren und zu kontrollieren. Eine Besonderheit der bildhaften Registrierung liegt darin begründet, daß alle erfaßten Situationen authentisch abgebildet und unter Einbeziehung von Hintergrundinformationen wiederholt analysiert werden können. Zur bildhaften Registrierung von Versuchsabläufen sind in der ethologischen Versuchspraxis bisher verschiedene Aufnahmetechniken eingesetzt worden (Tab. 5).

Tabelle 5: Kinematographische Registriergeräte für den Einsatz bei ethologischen Versuchen

	Phototechnik	Videotechnik	Filmtechnik
Aufnahme- geräte	Photoapparate z.B.Reihen- bildkammern	Videoanlagen	Filmkameras
Aufzeich- nungsart	diskontinu- ierlich	kontinuierlich	kontinuierlich diskontinuier- lich Zeitraffer
gebräuchli- che Formate	16 mm 35 mm	1/2" (12,7 mm) Videobänder Kassetten	8 mm 16 mm
Filmsorten	Schwarzweiß- Filme Color-Filme Infrarot-Filme	schwarzweiß Color	schwarzweiß Color

Für die Aufzeichnung dynamischer Verhaltensabläufe eignen sich besonders die kontinuierlich arbeitenden film- und videotecnischen Aufnahmegeräte. Einige Filmkameras verfügen über zusätzliche Wiedergabemöglichkeiten, wie beispielsweise die Standbild- oder Zeitraffertechnik. Für Langzeitregistrierungen statischer Versuchssituationen kommt den diskontinuierlich arbeitenden Aufnahmegeräten besondere Bedeutung zu.

Die grundlegenden Fähigkeiten kinematographischer Registriergeräte, eine Vielzahl von Ereignissen objektiv und simultan erfassen und speichern zu können, legen den Einsatz dieser Mittel unter den gegebenen Zielsetzungen im Liegeboxenlaufstall nahe. Deshalb bedarf es einer detaillierten Vorstellung der verschiedenen Alternativen sowohl hinsichtlich der Bilderstellungstechnik als auch der qualitativen und quantitativen Verfahren zur Analyse der erstellten Bildvorlagen.

2.4.1 Reihenbildkammern

Reihenbildkammern sind Geräte, die den Bildwechsel und die Auslösung automatisch vollziehen (/74/). Während langfristiger Versuchseinsätze in Tierstallungen mit extrem ungünstigen stallklimatischen Verhältnissen haben diese oft eine zuverlässige und störungsfreie Funktion bewiesen (METZNER 1976 /36/, BOXBERGER u. ZIPS 1979 /10/, PFADLER 1981 /41/). Das Betreiben einer Reihenbildkammer erfordert einige zusätzliche technische Einrichtungen (Abb. 7).

Das gesamte Registriersystem besteht aus folgenden Einzelelementen:

- Reihenbildkammer (evtl. mit Schutzgehäuse)
- Energieversorgungseinheit
- Steuergerät
- Beleuchtungseinheit (Blitzaggregat)

Die Reihenbildkammer erzeugt Aufnahmen von dem Blickfeld des optischen Systems in frei wählbaren Intervallen. Das Steuergerät ist in Verbindung mit der Energieversorgungseinheit für die Betriebsbereitschaft des gesamten Systems und für die Steuerung der Bildfrequenz verantwortlich. Eine weitere Funktion

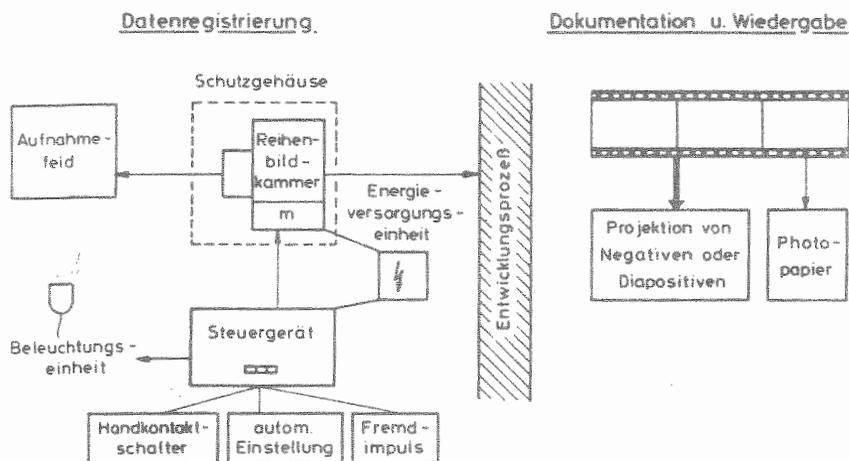


Abbildung 7: Datenregistrierung und -dokumentation beim Einsatz von Reihenbildkammern

des Steuergerätes liegt in der synchronen Auslösung einer zuzuschaltenden Beleuchtungseinheit (Blitzaggregat). Der für eine Bildauslösung erforderliche elektromagnetische Impuls kann entweder manuell über einen Handkontaktschalter oder über die automatische Vorgabe des Zeitintervalls zwischen zwei Bildauslösungen erfolgen. Zusätzlich besteht die Möglichkeit der Bildauslösung durch die Nutzung von Fremdimpulsen, beispielsweise durch Unterbrechung eines Lichtstrahles einer Lichtschrankenanlage (BOXBERGER u. ZIPS 1979 /10/). Die Dokumentation des Filmmaterials kann in Form von projizierten Negativen oder Diapositiven, sowie auf Photopapier erfolgen.

Für kleine Aufnahmefolgen lassen sich handelsübliche 35 mm-Filmpatronen verwenden; für größere Bildserien können Ansatzmagazine mit höherer Filmkapazität (15 bis 150 m) herangezogen werden. Nachteilig wirkt sich u.U. das Fehlen einer Suchvorrichtung aus; deshalb sind Aufstecksucher vorgesehen, mit deren Hilfe zu Beginn der Registriertätigkeit die Einrichtung

der Kammer am Aufnahmeort so vorgenommen werden kann, daß alle erforderlichen Details im Bild vollständig wiedergegeben werden.

Steuergeräte erlauben in der Regel auch die synchrone Auslösung mehrerer Reihenbildkammern, wobei die Auslösefrequenz in der Regel zu variieren ist (z.B. 3 Bilder pro sec). Somit können auch sehr rasch ablaufende Bewegungsvorgänge als Einzelaufnahmen in filmähnlicher Form erstellt werden.

2.4.2 Videoanlagen

In einer relativ kurzen Entwicklungsphase haben sich leistungsstarke und zugleich preisgünstige Schwarzweiß- und Color-Videoanlagen auf dem Markt etabliert. Eine Videoanlage setzt sich prinzipiell zusammen aus einer Kamera mit wechselbaren Objektiven, einem Rekorder mit verschiedenen Band- bzw. Kassettenlängen und einem Monitor (Abb. 8).

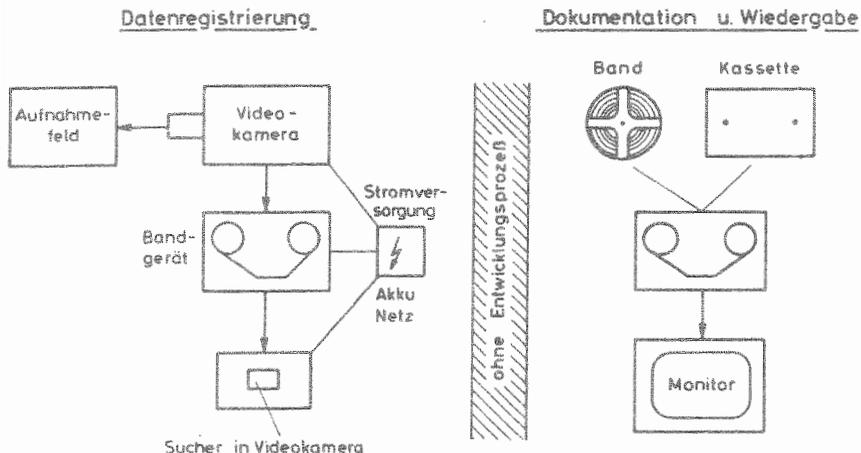


Abbildung 8: Datenregistrierung und -dokumentation bei Videoanlagen

Die Videokamera zeichnet die im Erfassungsbereich des Objektivs ablaufenden Situationen auf und dokumentiert diese auf dem Magnetband, das sich in Form von Videobändern oder Kassetten in einem separaten Aufnahmegerät - dem Bandgerät - befindet. Der Sucher der Videokamera erlaubt der Bedienungsperson parallel zum Vorgang der Datenaufzeichnung das visuelle Mitvollziehen der ablaufenden Handlungen. Die Suchervorrichtung selbst dient gleichzeitig als "integrierter Monitor" zur unmittelbaren Wiedergabe des aufgezeichneten Geschehens, ohne Hinzuziehung eines größeren Monitors. Die Stromversorgung erfolgt bei zeitlich befristeten Einsätzen über einen integrierten, nachladbaren Akkusatz. Bei stationärer und langfristiger Aufnahme kann die Stromversorgung sowohl der Videokamera als auch des Bandgerätes über ein Netzgerät vorgenommen werden.

Die auf dem Datenträger aufgezeichneten optischen und evtl. akustischen Informationen sind sofort nach Abschluß der Aufzeichnung abrufbereit, da das Magnetband keinem chemischen Entwicklungsprozeß unterzogen werden muß. Die Wiedergabe der aufgezeigten Daten über einen Monitor wird vom gleichen Bandgerät vorgenommen wie bei der Datenregistrierung. Bei langfristigen Einsätzen dieser Technik im Stallmilieu ist es u. U. notwendig, Schutzgehäuse zur Aufrechterhaltung der Funktionstüchtigkeit der empfindlichen Technik vorzusehen, da die aggressive Stallluft, hohe Luftfeuchtigkeit und eine hohe Staubkonzentration die Funktionsbereitschaft beeinträchtigen können. Die Anordnung von empfindlichen technischen Geräten oder Zubehöerteilen (Bandgerät) unter konstanten Klimabedingungen außerhalb des Stallgebäudes ist als eine weitere Schutzmaßnahme anzusehen. Der Lichtanspruch beim Einsatz von technisch hochentwickelten Videokameras ist im Vergleich zur Filmkamera als gering zu bezeichnen. In Stallanlagen, wo beispielsweise die Filmkamera nur mit starken zusätzlichen Beleuchtungsquellen anzuwenden wäre, kann eine entsprechende Videokamera noch auswertbares Bildmaterial mit befriedigender Schärfe und Kontrastbildung erstellen.

Videoanlagen lassen sich äußerst flexibel mit nahezu keinen Rüstzeiten einsetzen. Die bei modernen Videoanlagen anzutreffende kompakte Bauweise erleichtert den Transport und die Handhabung, so daß eine Bedienungsperson die Datenregistrierung vollständig durchführen kann.

2.4.3 Filmkameras

Als zentrales Aufzeichnungsgerät registriert beim Einsatz der Filmtechnik eine Filmkamera die im Blickfeld des optischen Systems ablaufenden Situationen und dokumentiert diese kontinuierlich (Abb. 9).

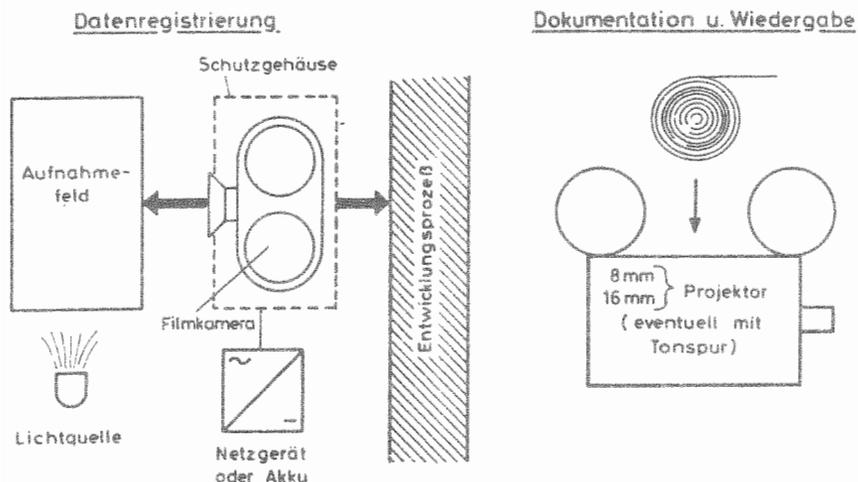


Abbildung 9: Datenregistrierung und -dokumentation beim Einsatz von Filmkameras

Die für den Betrieb der Kamera erforderliche Energieversorgung erfolgt über einen in der Kamera integrierten Akkusatz oder über eine separate 12 Volt-Gleichstromquelle; bei längerfristigen Einsätzen ist der externen Stromversorgung der Vorzug einzuräumen. Die Betriebsarten der Kamera bei der

Datenaufzeichnung reichen von der Normal- oder Dauerauslösung bis hin zur Einzelbildschaltung. Mit der Arbeitsstufe Normalauslösung wird die Kamera so lange in Betrieb gehalten, wie der Auslösemechanismus manuell betätigt wird.

Zwischen der Phase der Datenregistrierung und der Dokumentation liegt der Vorgang der Entwicklung des belichteten Filmmaterials. Danach stehen die im Film dokumentierten Informationen in projizierter Form zur Interpretation bereit. Durch Herausschneiden von unwichtigen Daten oder mißlungenen Aufnahmen kann das Filmmaterial reduziert werden, so daß nur relevante Informationen gespeichert sind. Zusätzlich lassen sich akustische Begleitsituationen auf dem Filmmaterial fixieren (Tonspur). Ein besonderer Vorzug der Filmtechnik liegt darin begründet, daß sich der Informationsgehalt bzw. die Informationsdichte im Film durch verschiedene Filmgeschwindigkeiten beeinflussen läßt. Mit der Einstellung einer geringen Bildzahl pro Zeiteinheit, d.h. weniger als 24 Bilder/sec, kann eine Verkürzung der aufgenommenen Situationen erreicht werden (Zeitraffer). Eine Bildzahl von mehr als 24 Bilder/sec verlängert die aufgezeichneten Vorgänge (Zeitlupe).

2.4.4 Auswertung von Bildvorlagen

Die Aufnahmen mit phototechnischen Registriergeräten stehen nach dem Entwicklungsprozeß des belichteten Filmmaterials zunächst in Negativausführung zur Verfügung. Neben der Erstellung von Schwarzweiß- und Farbpositiven, die für die Analyse geringer Stückzahlen als sinnvoll betrachtet werden können, ist im Rahmen von serienmäßigen Reihenbildanalysen die Projektion des Schwarzweiß-Filmmaterials als eine kostengünstige und praktische Alternative zu betrachten. In Schwarzweiß-Negativen entsprechen die Kontraste jedoch nicht der Realität, da der erforderliche Umkehrprozeß nicht stattgefunden hat. Schwarze oder dunkle Objekte sind im Negativ weiß oder hell abgebildet, helle oder weiße Objekte werden im Negativ dunkel oder schwarz wiedergegeben. Der Informationsgrad des projizierten Negativs bleibt jedoch trotz der "umgekehrten Verhältnisse" erhalten.

Die Aufbereitung bildhafter Informationen ist folgendermaßen vorzunehmen:

- 1) Die Transformation bildlicher, analoger Informationen in digitale Meßgrößen, d.h. die Realisierung des Überganges vom Bild zur Zahl.
- 2) Computergestützte Analyse und statistische Absicherung des resultierenden Datenmaterials (Abb. 10).

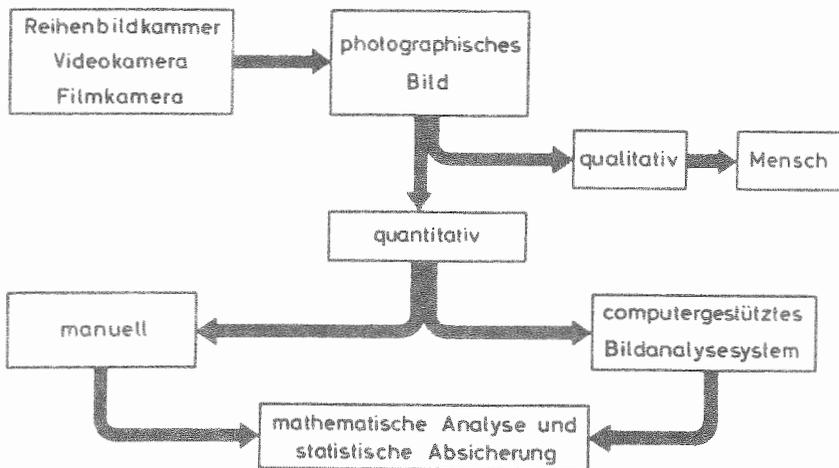


Abbildung 10: Ablaufschema für die Analyse bildhafter Versuchsdaten

Losgelöst von der Art der kinematographischen Registriergeräte, die zur Erstellung photographischer Bildvorlagen im weitesten Sinne herangezogen werden, entsteht ein photographisches Bild, das einer qualitativen und/oder quantitativen Interpretation zu unterziehen ist. Für die Bewertung und Vermessung von bildhaften Informationen im Rahmen der quantitativen Analyse stehen manuelle Verfahren und computergestützte Bildanalysesysteme zur Verfügung. Die qualitative Verarbeitung von bildhaften Informationen erfolgt durch den menschlichen Intellekt. Die mathematische Analyse und statistische Absicherung des Zahlenmaterials, das aus der Verwendung manueller oder technischer

Hilfsmittel resultiert, erfolgt im offline- oder online-Betrieb. Online-Betrieb bedeutet im einfachsten Fall, daß das mit einem Rechnersystem verbundene Datenerfassungsgerät die Daten parallel zum Auswertevorgang auf einem Datenspeicher ablegt. Beim offline-Betrieb werden Daten vom Analysegerät erfaßt und im Normalfall über ein graphisches Display oder eine integrierte Druckvorrichtung angezeigt (AUERNHAMMER 1980 / 3 /).

Manuelle Verfahren beruhen auf der Verwendung von Hilfsrastern, die unmittelbar vor oder auf der Bildvorlage selbst angebracht sind. Inwieweit diese einfachen Hilfsmittel befriedigende und zuverlässige Ergebnisse bringen, wird besonders von der Komplexität der Fragestellungen, dem geforderten Genauigkeitsniveau und der räumlichen Ausdehnung der Versuchsfläche im Bild abhängig gemacht werden müssen.

Computergestützte Analyseverfahren vereinfachen die Auswertung photographischer Bildvorlagen in erheblichem Maße und stellen ein abgesichertes, quantifiziertes Datenmaterial zur Verfügung. Für die quantitative Analyse von umfangreichen Bildserien stehen verschiedene technisierte Verfahren zur Verfügung (Tab. 6).

Tabelle 6: Technische Geräte zur quantitativen Interpretation (photo-)graphischer Vorlagen

Meßgerät	Meßkriterien	Art der Bildvorlage	Betriebsarten
Komparatoren - Monokomp. - Stereokomp.	Bildkoordinaten	photographische Vorlagen (Einzelbilder, Bildpaare)	offline online
Reprooptikbewerter	Flächen, Tiere, Anfangs- u. Endzeitpunkte, Zahlen	Videobilder	online
x;y-Koordinatendigitalisierer	x;y-Koordinaten (Flächen-, Längen-, Abstandsmessungen)	Meßschriebe, Abbildungen, photograph. Bildvorlagen	offline online

Für eine teilautomatisierte Bildmessung stehen drei verschiedene Analysegeräte (Komparator, Reprooptikbewerter, x;y-Koordinatendigitalisierer) zur Verfügung. Komparatoren sind hochpräzise Spezialgeräte aus dem photogrammetrischen Anwendungsbereich zur Bildkoordinatenmessung. Ein Monokomparator vermißt ein einzelnes Meßbild in zwei zueinander senkrechten Koordinatenrichtungen. Stereokomparatoren führen gleichzeitig die Messung eines stereoskopischen Bildpaares durch. Die Verwendung der hochpräzisen und finanziell aufwendigen Komparatoren (Meßgenauigkeit im μ -Bereich) scheidet für die serienmäßige Bildmessung aus. Als Verfahren zur Bildmessung oder -interpretation verbleiben daher nur der Reprooptikbewerter und der x;y-Koordinatendigitalisierer online mit einem Rechner.

2.4.4.1 Reprooptikbewerter

Der Reprooptikbewerter ist in erster Linie für die Bewertung von Videobildern konzipiert worden (IRPS 1979 /27/). Dieses Bildbewertungssystem setzt sich zusammen aus dem Videorekorder, Videomonitor mit Lochrasterscheibe und Sensoren, Potentialgriffel und Datenübertragungseinheit (DTU) (Abb. 11).

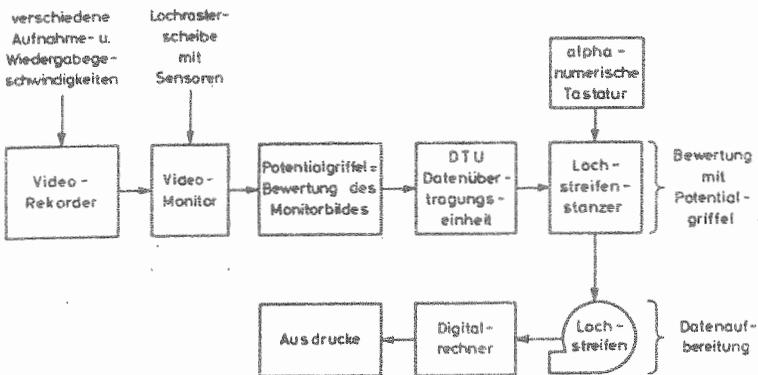


Abbildung 11: Systemübersicht (Blockdiagramm) bei der Bildbewertung mit dem Reprooptikbewerter (nach IRPS 1979 /27/)

Das in der Phase der Datenregistrierung vom Videorekorder aufgezeichnete Versuchsgeschehen wird während der Interpretationsphase über den Videomonitor optisch wiedergegeben. Unmittelbar vor der Monitoroberfläche ist eine transparente Lochraster-scheibe (Plexiacrylglas) plaziert. Diese ist mit einem Netz von Löchern versehen, so daß die elektrischleitenden Sensoren entsprechend der Lage und der Charakteristik der Auswertungs-kriterien auf dem zu analysierenden Videobild variabel auf der Lochrasterscheibe angeordnet werden können. Wenn beispiels-weise das Liegeverhalten einer Gruppe von Mastschweinen in einer Vollspaltenbodenbucht untersucht werden soll, so müssen die Sensoren entsprechend der von der Lochrasterscheibe vorge-gebenen Dichte und Verteilung der Löcher so "gesteckt" werden, daß jeder Sensor das Versuchsgeschehen innerhalb eines be-stimmten Buchtenbereiches erfaßt. Die Aufgabe der Person, die die Bildbewertung vornimmt, besteht darin, mit dem Spezialstift (Potentialgriffel) fortlaufend auf der Lochrasterscheibe die Sensoren anzutippen, die den Aufenthaltsbereich innerhalb der Bucht oder eine bestimmte Tätigkeit (Liegen linksseitig, Lie-gen rechtsseitig) der Versuchsobjekte charakterisieren. Durch Kontakt zwischen dem elektrisch positiv geladenen Spezialstift und dem mit einem negativen elektrischen Potential versehenen Sensor auf der Lochrasterscheibe wird die jeweilige Versuchs-situation registriert und als Signal an die angeschlossene Datenverarbeitungseinheit weitergeleitet. Die Speicherung der Daten erfolgt auf einem frei wählbaren Datenträger. Als sol-cher fungiert im Blockdiagramm (Abb. 11) ein Lochstreifenstan-zer mit der Möglichkeit der Eingabe zusätzlicher Informationen über eine alphanumerische Tastatur. Die mathematische Aufberei-tung und statistische Absicherung der Daten durch einen Digi-talrechner beispielsweise, erfolgt im offline-Verfahren. Eine zusätzliche Möglichkeit der Dateneingabe und -verarbei-tung ist durch die außerhalb der Monitoroberfläche angeordne-ten Sensoren gegeben. Damit lassen sich periphere Versuchs-informationen (z.B. Zeitangaben) mit beschreibendem oder erklä-rendem Charakter einfügen.

2.4.4.2 Computergestütztes graphisches Bildanalyse- system (Minicomputer und x;y-Koordinatendigitalisierer)

Für die Analyse und Vermessung von Bildvorlagen im weitesten Sinne bietet sich der Einsatz einer Gerätekombination an, die sich aus einem Minicomputer, einem x;y-Koordinatendigitalisierer und ggf. einer Projektionsvorrichtung zusammensetzt (Abb. 12).

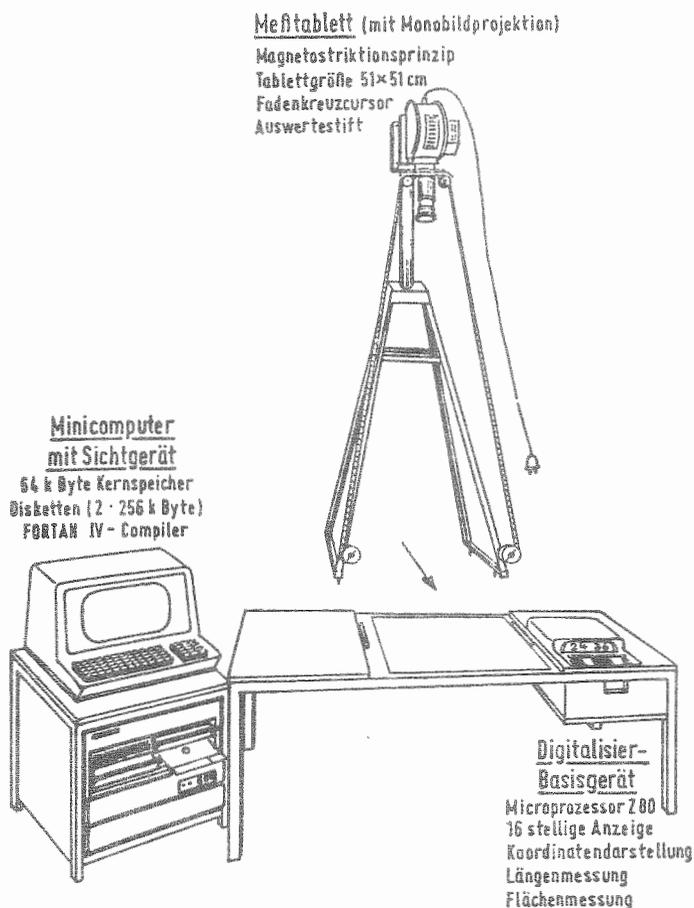


Abbildung 12: Computergestütztes graphisches Bildanalyse-
system (nach AUERNHAMMER 1981 / 4 /)

Das wiedergegebene Bildanalysesystem zeigt die möglichen Bestandteile und die Zusammensetzung eines derartigen Systems auf. Bei einer Gesamtspeicherkapazität von 64 k-Byte weist der Minicomputer einen nutzbaren Kernspeicherraum von 56 k-Byte auf. Dieser nutzbare Speicherraum bestimmt die Qualität und die Quantität der durchzuführenden Rechenoperationen. Der Minicomputer bedient sich einer bestimmten Programmiersprache, z.B. FORTRAN IV. In Anlehnung an die vom Minicomputer vorgegebene Programmiersprache erfordert der Betrieb des Minicomputers eine bestimmte Programmausstattung (Software), die mit zunehmendem Schwierigkeitsgrad der Versuchsauswertungen höhere Anforderungen an den Aufbau entsprechender Programme. Als besonders benutzerfreundlich erweisen sich interaktive Programmversionen. Diese sind so konzipiert, daß das Auswerteprogramm über das Sichtgerät des Minicomputers alle Bedienungsanweisungen erfragt, die von einer Bedienungsperson entsprechend auszuführen sind.

Hauptbestandteile des x;y-Koordinatendigitalisierers sind das Digitalisierbasisgerät und das Meßtabelle mit den Abmessungen von 51 x 51 cm. In das Digitalisierbasisgerät ist ein Meßwertdisplay, ein x;y-Meßgeber, ein Mikroprozessor und ein Funktionstastenfeld für verschiedene Meßfunktionen integriert. Das zugrundeliegende Meßprinzip zur Gewinnung von Meßwerten basiert auf dem Gebersystem nach dem Magnetostruktionsprinzip (AUERNHAMMER 1980 / 3/).

Der x;y-Koordinatendigitalisierer übernimmt die digitale Vermessung von x;y-Koordinaten (z.B. Punkte, Kurvenverläufe). Auch zur universellen Flächen-, Längen- und Abstandsmessung sind diese Geräte einsetzbar. Die Vermessung von Meßschriften, Abbildungen jeglicher Art und photographischer Vorlagen ist möglich. Der x;y-Koordinatendigitalisierer kann offline und online bedient werden, d.h. ohne oder mit Minicomputer. Der online-Betrieb trägt bei einer hohen Datenfülle und einem komplizierten Aufbereitungsmodus zu einer enormen Vereinfachung und Beschleunigung des Auswerteprozesses bei. Während des Meßvorganges werden die auszuwertenden Bildvorlagen auf dem Meßtabelle aufgelegt oder mit Hilfe einer Projektionsvorrichtung auf das Meßtabelle projiziert. Bei der

Analyse projizierter Negative ist das Projektionsgestell senkrecht über das Meßwerttablett zu positionieren. Die Abmessungen des Meßtablets bestimmen die maximal einstellbare Vergrößerung. Am Fuße der Projektionseinheit sind beidseitig Halterungen vorgesehen, die die Filmspulen während der Bildanalyse fixieren. Über die beiden Spulenhalterungen und die Filmführungsrichtungen am Projektor wird die ebene Lage des Filmes erreicht. Der Filmtransport kann manuell oder über einen Motorantrieb erfolgen.

Als Abtastinstrument zur Erfassung von Meßwerten können sowohl Fadenkreuzcursor als auch Auswertestifte herangezogen werden. Für die exakte Bildpunkterfassung eignet sich besonders der Fadenkreuzcursor (Abb. 13).

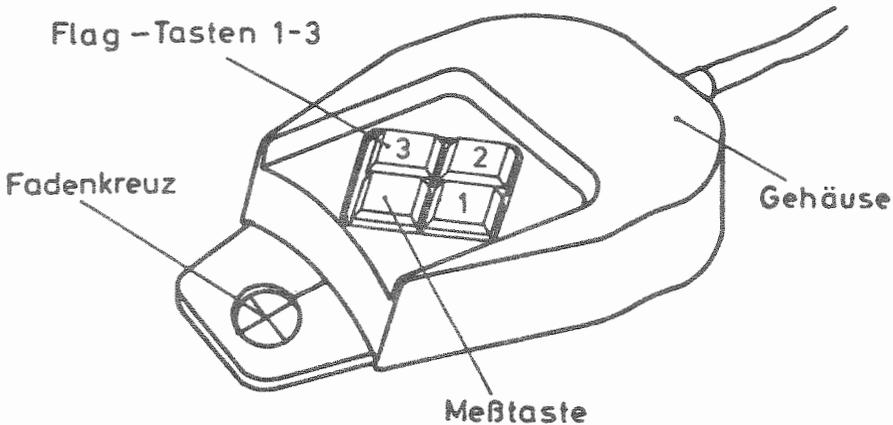


Abbildung 13: Fadenkreuzcursor als Abtastorgan zur x;y-Koordinatenmessung

In das Gehäuse sind neben dem eigentlichen Fadenkreuz die Meßtaste sowie drei Flagtasten integriert. Mit den Flagtasten wird dem Benutzer die Möglichkeit eingeräumt, zusätzliche Informationen über das Meßtablett zu verarbeiten. Während der Meßphase gilt es, das Fadenkreuz möglichst exakt auf den zu messenden Punkt aufzulegen und durch Betätigen der Meßtaste den Meßvorgang einzuleiten. Je exakter ein Punkt angetippt wird, um so höher ist die erzielbare Meßgenauigkeit.

x;y-Koordinatendigitalisierer und der Reprooptikbewerter (vgl. 2.4.4.1) zeigen struktur- und funktionsmäßig gewisse Parallelen auf (Tab. 7).

Tabelle 7: Vergleich zwischen Reprooptikbewerter und x;y-Koordinatendigitalisierer

Kriterium	Reprooptikbewerter	x;y-Koordinatendigitalisierer
Zahl der Meßpunkte	begrenzt	unbegrenzt
Meßorgan	Potentialgriffel	Cursor, Stifte
mathem. Analyse	offline	offline und online
Erfass.bildunabhängiger Merkmale	Sensoren	Menuefelder

Der gravierende Unterschied zwischen beiden Systemen liegt darin, daß der Reprooptikbewerter nur eine begrenzte Zahl von Merkmalen registrieren kann, während industriemäßig gefertigte Meßtablets von x;y-Koordinatendigitalisierern prinzipiell jeden beliebigen Punkt auf der Meßfläche des Tablettts vermessen können. Funktionelle Übereinstimmungen ergeben sich bezüglich der Verwendung der Meßorgane, der mathematischen Aufbereitung und der Erfassung peripherer, bild- bzw. versuchsunabhängiger Merkmale (z.B. Zeitangaben).

2.4.5 Einordnung kinematographischer Hilfsmittel

Wenn bei der Durchführung einer ethologischen Versuchsanstellung ein technisches Hilfsmittel aus dem Bereich der Kinematographie angewendet werden soll, entscheiden über dessen Anwendung prinzipiell drei Aspekte (Abb. 14).

Hauptentscheidungskriterien für die Phase der Datenregistrierung sind die Aspekte "Dynamik der Versuchsabläufe" und "räumliche Situation", während für die Phase der Datenaufbereitung die Frage nach der Art der quantitativen Datenanalyse vorrangig gelöst werden muß. Aufgrund dieser Sachlage ergibt sich eine sinnvolle und adäquate Verwendung von photo-, video- und filmtechnischen Hilfsmitteln, wie sie in Tab. 8 angedeutet ist.

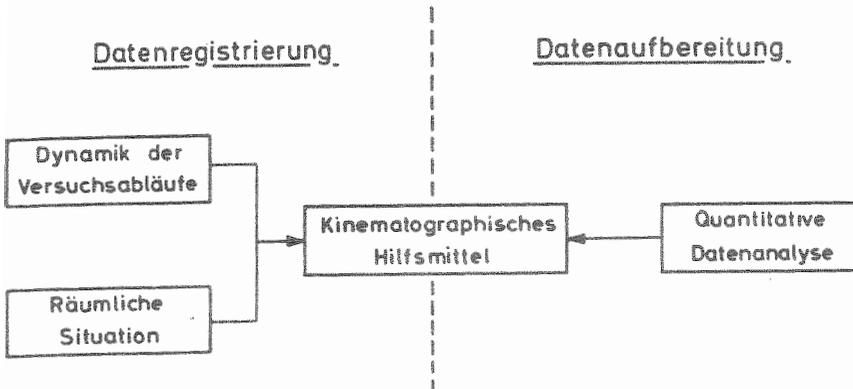


Abbildung 14: Entscheidungskriterien bei der Auswahl kinematographischer Hilfsmittel zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens

Die bevorzugte Anwendung von phototechnischen Hilfsmitteln (Reihenbildkammern) liegt in der Erfassung statischer Zustände oder abgegrenzter Verhaltensmerkmale im Rahmen längerfristiger Versuchsanstellungen begründet. Laufen Bewegungsabschnitte oder Situationen nacheinander ab, können Einzelbilder, die in Anpassung an den zeitlichen Verlauf des Geschehens erstellt sind, das Geschehen objektiv dokumentieren. Bei der Untersuchung des Liegeverhaltens mit Hilfe quantitativer Parameter, wie beispielsweise der Liegedauer oder der Liegehäufigkeit, ist es sinnvoll, nur dann Aufsteh- bzw. Abliegevorgänge oder Wechsel von Liegeboxen im Bild zu dokumentieren, wenn sich diese tatsächlich ereignen. Der Einsatz der Video- oder Filmtechnik wäre hier fehl am Platze, da bei Liegephasen von wenigen Minuten bis zu mehreren Stunden eine Aufzeichnung ohne jeglichen Informationsgehalt vorgenommen werden müßte.

Film- und videotechnische Aufnahmegeräte, die als charakteristische Eigenschaft die kontinuierliche Datenaufzeichnung aufweisen, sind einzusetzen, wenn zeitlich verlängerte Verhaltens- und Bewegungsabläufe zu erfassen sind, die sich grundsätzlich durch eine gewisse Dynamik auszeichnen, z.B. die Erfassung von

Tabelle 8: Einsatzmöglichkeiten kinematographischer Hilfsmittel in der Tierbeobachtung

kine- matogr. Hilfs- mittel	Dynamik der Versuchsabläufe		räumliche Situationen	Quantitative Datenanalyse	
	Aufzeichnung			Vorgänge auf	
	dynamischer Be- wegungsfolgen	statischer Situationen		räuml.begrenz- ten ebenen Versuchsflä- chen	räuml.ausge- dehnten Ver- suchsflächen
photo- techn. Hilfs- mittel (Reihen- bildkam.)	-	+	Bei der Registrierung durch verschiedene Objektive An- passung an jeweilige räuml. Verhältnisse nur bei quanti- tativer Datenanalyse zu be- rücksichtigen	+	mögl.in Ver- bindung mit photogramme- trischer Analyse
Video- technik	+	-		+	-
Film- technik	+	-		+	-

+ = geeignet
- = nicht geeignet

Aufsteh- und Abliegevorgängen von Rindern oder die Ermittlung lokomotorischer Aktivitäten. Die Filmtechnik ist effektiver einzusetzen, wenn das Hauptinteresse der Filmaufnahmen in einer langfristigen, anschaulichen Dokumentation und Präsentation bestimmter informativer Zusammenhänge liegt. Der bevorzugte Einsatz der Videotechnik entfällt auf die kurzfristige Registrierung von Versuchsdaten, die nach der Analyse nicht aufbewahrt werden. Da Videoanlagen über die Stand- oder Einzelbildtechnik verfügen, wird die Interpretation bei der Wiedergabe komplexer, dynamischer Vorgänge wesentlich erleichtert.

Die Abmessungen des zu überwachenden Aufnahmegebietes spielen in der Phase der Datenregistrierung nur eine untergeordnete Rolle, da über ein umfangreiches Angebot an Wechselobjektiven für alle kinematographischen Registriergeräte eine ausreichende Abbildung der Situationen auf dem Speichermedium realisiert werden kann. Der Aspekt der räumlichen Ausdehnung des Aufnahmegebietes tritt als entscheidender Faktor auf, wenn im Rahmen der quantitativen Analyse als Element der Verhaltensbeschreibung die Standortanalyse oder die Lokomotion von Objekten auftreten.

Bewegungsabläufe und Standortanalysen von Tieren auf räumlich ebenen Versuchsflächen (Vollspaltenbuchten für Mastbullen, Mastschweinebuchten, Abferkelbuchten, Freßflächen von Rindern) können mit manuellen und teilautomatisierten Bildanalyzesystemen vorgenommen werden. Sobald jedoch räumlich ausgedehnte Versuchsflächen (Liegeboxenlaufstall, Weidefläche) Gegenstand der bildhaften Registrierung sind, ist die flächenhafte Bildanalyse nach quantitativen Gesichtspunkten nicht realisierbar (ZIPS u. BOXBERGER 1981 /73/). Da die eindeutige Erfassung des Tierverhaltens nur über quantitative Kriterien lösbar ist, kann lediglich durch eine exakte Messung von Standorten (x;y- und z-Koordinatenangaben) eine zuverlässige Beschreibung und Erfassung von Verhaltensmerkmalen mit "Maß und Zahl" vorgenommen werden. Um die Vorzüge kinematographischer Registriertechniken auch bei Versuchsanstellungen auf räumlich ausgedehnten Versuchsflächen nutzen zu können, bedarf es daher bei der quantitativen Analyse derartiger Bildvorlagen der Heranziehung photogrammetrischer Meßverfahren.

2.5 Beurteilung bisher üblicher Registriermethoden

Unter der Zielsetzung, eine gleichzeitige und kontinuierliche Standort- und Aktivitätsanalyse von Kühen durchzuführen, verbleiben vier verschiedene Verfahren:

- visuelle Registrierung,
- Lichtschrankentechnik,
- Telemetrie,
- Kinematographie in Verbindung mit der Photogrammetrie.

Bei der Prüfung auf Eignung beim Einsatz in Liegeboxen-laufställen wird davon ausgegangen, daß jeweils längerfristige Versuchsperioden von 24 bis 48 Stunden registriert werden müssen, innerhalb derer eine simultane Überwachung von mehreren Tieren vorzunehmen ist. Neben den bereits erwähnten Grundforderungen (Standort- und Aktivitätserfassung) sollte eine geeignete Methode eine Reihe weiterer Bedingungen erfüllen, denen bei der Versuchsdurchführung und -auswertung Bedeutung zukommt (Tab. 9).

Im Rahmen der Gegenüberstellung werden insgesamt zehn Zielgrößen herangezogen, die nach den Kriterien "geeignet", "nicht geeignet" oder "nur bedingt geeignet" bewertet werden. Die Angabe von exakten Zahlen hinsichtlich des personellen und materiellen Aufwandes bei den einzelnen Verfahren ist auf Grund der jeweils veränderten spezifischen Einsatzbedingungen und Einflußfaktoren als nicht sinnvoll zu betrachten, so daß nur eine globale Einstufung nach dem Beurteilungsmaßstab "niedrig, mittel, hoch" vorgenommen wird.

Der Einzeltierbetrachtung muß insofern ein hoher Stellenwert beigemessen werden, als zur Festlegung der Streubreite des Verhaltens einer Herde die Verhaltensaüßerungen jedes Tieres im Herdenverband individuell registriert und analysiert werden müssen (BOCKISCH et. al. 1982 / 7 /). Denn nur dann, wenn die spezifischen Verhaltensspektren der Einzeltiere sehr genau definiert werden können, gelingt es, mögliche Interaktionen zwischen einzelnen Herdenmitgliedern aufzuzeigen. Während die visuelle Beobachtungsmethode und die Photogrammetrie die

Tabelle 9: Beurteilung ausgewählter Registrier- und Analysemethoden zur Erfassung und Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall

	Zielgrößen	Visuelle Beobachtung	Lichtschran- kentechnik	Telemetrie- technik	Photographie bzw. Photogrammetrie
Versuchsdurchführung	Einzel-tierbetrachtung	+	-	-(+)	+
	kontaktlose Datenerfassung	+	+	-	+
	lichtunabhängige Registrierung	-	+	+	-(+)
	personeller Aufwand	hoch	hoch	hoch	niedrig
	materieller Aufwand	niedrig bis mittel	hoch	hoch	mittel
	Mobilität des Verfahrens	+	-	+	+(-)
Versuchsauswertung	Genauigkeitsniveau b.d. Standortanalyse, ± 30 cm	-	-(+)	-	+
	Erfassung individueller Wegstrecken	- (+)	-	-	+
	personeller Aufwand	hoch	mittel-hoch	mittel	hoch
	materieller Aufwand	niedrig bis mittel	hoch	hoch	hoch

+ = geeignet

- = nicht geeignet

() = nur bedingt geeignet

Forderung nach der Einzeltierbetrachtung erfüllen können, ist die Lichtschrankentechnik für diesen Zweck als ungeeignet einzustufen. Die Telemetrie kann zwar grundsätzlich zur Überwachung einzelner Objekte herangezogen werden, jedoch unter den Einsatzbedingungen des Liegeboxenlaufstalles kann nach dem gegenwärtigen Entwicklungsstand kein funktionssicherer Einsatz garantiert werden (vgl. 2.3).

Im Hinblick einer objektiven Versuchsdurchführung ist der Vorrang der Methode einzuräumen, die die Datenerfassung kontaktlos vornimmt. Diese Voraussetzung wird, mit Ausnahme der Telemetrie, von allen Verfahren erfüllt.

In diesem Zusammenhang ist der Faktor "Licht" zu berücksichtigen, der als eine wesentliche Voraussetzung bei der Anwendung der visuellen Beobachtung und auch photographischer Verfahren anzusehen ist. Die Lichtschraken- und Telemetrietechnik dagegen arbeiten lichtunabhängig.

Bei der visuellen Beobachtungsform besteht, im Gegensatz zu den photographischen Aufnahmetechniken, die Möglichkeit, die Beleuchtungsstärke am Versuchsort niedrig zu halten. Eine Ausnahme innerhalb der photographischen Verfahren bildet die Infrarotphotographie, mit der auch bei ungünstigen Lichtverhältnissen gearbeitet werden kann. Voraussetzung dafür ist die Verwendung von Infrarot-Filmmaterial und die Anbringung von Infrarot-Filtern vor dem Objektiv des Aufnahmeapparates und der Oberfläche der Beleuchtungseinrichtung (Blitz).

Der Lichtanspruch visueller und photographischer Verfahren stellt jedoch die Anwendung dieser Verfahren nicht in Frage, da nach TSCHIRCH und SOMMER 1970 /64/ der Einsatz künstlicher Beleuchtungsquellen (Dauerbeleuchtung, Blitz) keinen störenden Einfluß auf das Verhalten von Rindern ausübt.

Die Faktoren "personeller und materieller Aufwand" im Rahmen der Versuchsdurchführung müssen als ein sich ergänzender Block betrachtet werden. Die visuelle Beobachtung erfordert einen hohen personellen Aufwand, während der materielle in der Regel vernachlässigt werden kann. Werden jedoch spezielle, unfallsichere Beobachtungseinrichtungen, z.B. Kanzeln oder Gerüste,

erforderlich, so kann auch die Verwendung der visuellen Beobachtungsmethode durchaus einen erhöhten materiellen Aufwand verursachen.

Beim Einsatz der Lichtschrankentechnik ergibt sich der personelle Aufwand aus der Notwendigkeit der Montage einer Vielzahl von Lichtschrankeneinheiten im Liegeboxenlaufstall. Die Überwachung und Wartung des Systems in der aktiven Versuchsphase kann in der Regel von einer Person vorgenommen werden.

Der hohe personelle Aufwand, der bei Verwendung telemetrischer Systeme notwendig ist, gründet vor allem auf der Tatsache, daß die erforderlichen Empfänger- oder Sendeeinheiten noch nicht als serienmäßig gefertigte, komplette Einheiten zu erwerben sind. Ebenso muß die Betriebsbereitschaft des gesamten Systems in der Versuchsphase garantiert sein. Damit erreicht der personelle und materielle Aufwand telemetrischer Systeme zwangsläufig im Vergleich zu den konkurrierenden Verfahren ein hohes Niveau.

Die Anwendung der photographischen Registriertechnik verursacht in der Regel nur einen niedrigen personellen Aufwand (1 bis 2 Personen). Ausschlaggebend dafür ist die Verwendung einer erprobten und funktionssicheren Gerätetechnik, die in variabler Ausstattung käuflich zu erwerben ist, so daß vom Anwender im Normalfall keine konstruktiven Arbeiten an der Registriertechnik durchzuführen sind. Die Anschaffung einer kompletten photographischen Registriertechnik (Kamera(s)), Zeitschaltgerät, Filmmagazine) erfordert insgesamt einen materiellen Aufwand, der sich größenordnungsmäßig zwischen 5 000 und 15 000 DM bewegt.

Durch die Mobilität eines Verfahrens kann die gesamte Versuchstechnik ohne größeren zeitlichen und organisatorischen Aufwand am Versuchsort eingesetzt werden. Gerade unter dem Aspekt der Durchführung von nur kurzzeitigen Beobachtungsphasen von 1 bis 2 Tagen ist die Mobilität als ein sehr wichtiger Gesichtspunkt anzusehen. Ebenso beim geplanten Versuchsprogramm: Es könnten sich gleiche Versuche mit anderen Herden und anderen Stallsystemen als notwendig erweisen, um dem Datenmaterial einen repräsentativen, allgemeingültigen Charakter zu verleihen.

Die Lichtschrankentechnik entspricht aufgrund des hohen Installationsaufwandes nicht den Anforderungen einer flexiblen Versuchstechnik, im Gegensatz zur visuellen Beobachtung und der Telemetrietechnik, die als mobile Verfahren eingestuft werden können. Erfordert die visuelle Beobachtung die Verwendung von Beobachtungskanzeln, wird ein Mobilitätsgrad erreicht, der der photographischen Registriertechnik gleichzusetzen ist. Beim Einsatz der photographischen Registriertechnik ist in der Regel die Errichtung eines Aufnahmegestells zur Anbringung der Registriergeräte und Zubehörteile nicht zu umgehen. Die Einsatzmöglichkeiten dieser Technik sind dann eingeschränkt, wenn aufgrund der baulichen Verhältnisse am Aufnahmeort (z.B. begrenzte Deckenhöhe, große Raumbreite und -tiefe) die erforderliche Aufnahmehöhe nicht bereitgestellt werden kann oder andere Störfaktoren (z.B. Stützen oder Trennwände) wichtige Bilddetails verdecken.

Neben den Kriterien der Versuchsdurchführung, beeinflussen auch diejenigen die Auswahl einer geeigneten Methode, die bei der Versuchsauswertung von Bedeutung sind.

Das erforderliche Genauigkeitsniveau bei der Standortbestimmung wird hauptsächlich durch die funktional ablaufenden Aktivitäten, wie Fressen, Liegen oder Fortbewegen, bestimmt. Bei der üblicherweise im Liegeboxenlaufstallsystem anzutreffenden Freßplatzbreite von ca. 65 cm können Freßvorgänge an einzelnen Freßplätzen nur ermittelt werden, wenn der mögliche Fehlerbereich die Hälfte der Freßplatzbreite, nämlich etwa 30 cm, nicht überschreitet. Innerhalb der Ruhezonen (Liegeboxen) ist eine größere Fehlergrenze zu tolerieren, da bei Boxenbreiten von ca. 1,10 m bis 1,20 m das Tier jeweils der richtigen Boxe zugeordnet werden kann. Auch die Erfassung der zurückgelegten Wegstrecken, die sich als Differenz der Koordinatenwerte aus den insgesamt ermittelten Standorten aufsummieren, ist nur als zuverlässig zu betrachten, wenn beim Auftreten einer großen Zahl von Einzelpositionen lediglich geringe Fehlerbereiche toleriert werden. Als Fazit daraus ergibt sich die Forderung, eine möglichst exakte Standortbestimmung vorzunehmen, deren Genauigkeit bei etwa ± 30 cm liegt.

Wenn bei der visuellen Beobachtung zusätzliche Orientierungspunkte (insbesondere im Laufbereich) angebracht sind, kann eine grobe Standortbestimmung im Meterbereich vorgenommen werden. Voraussetzung dafür ist aber eine zentralgelegene Position der Beobachtungsperson.

Die Genauigkeit der Standortanalyse bei Verwendung der Lichtschrankentechnik wird von den Abmessungen der Registrierzone der jeweiligen Lichtschrankeneinheit (z.B. Liegeboxen- oder Freiplatzbreite) bestimmt. Sie schwankt damit zwischen wenigen Zentimetern und mehreren Metern.

Die mit der Telemetrietechnik zu erreichende Präzision ist z.Zt. wegen der fehlenden praktischen Erfahrungen nicht exakt anzugeben. Eine ungefähre Vorstellung ist zu ermitteln durch den direkten Zusammenhang, der zwischen der Wellenlänge und dem Fehlerniveau besteht. Das Wellenspektrum erstreckt sich bei grober Betrachtung von Lichtwellen im Nanometerbereich bis hin zu den elektromagnetischen Wellen, die im Zentimeter- oder Dezimeterbereich anzusiedeln sind. Vorversuche haben gezeigt, daß bei Verwendung von optischen Systemen auf der Basis von Lichtwellen die Standortanalyse in etwa 30 m Entfernung vom Aufnahmeort mit ± 30 cm vorgenommen werden kann. Da mit größer werdenden Wellenlängen die Genauigkeit etwa proportional abnimmt, dürfte bei der Verwendung telemetrischer Systeme (elektromagnetische Wellen im Dezimeterbereich) die erzielbare Präzision bei der Standortanalyse unter günstigsten Bedingungen im Meterbereich vorzunehmen sein.

Die photogrammetrische Bildmessung erfüllt die Forderungen einer exakten Standortbestimmung von ± 30 cm.

Die Ermittlung individueller Wegstrecken (z.B. zurückgelegte Wegstrecke pro Tier/Tag in Metern) erfordert eine präzise Standortanalyse. Zu deren Erfassung als Basis der Untersuchungen des Lokomotionsverhaltens eignen sich in besonderer Weise photogrammetrische Bildmeßverfahren. Mit Hilfe der visuellen Beobachtung ist dieser Datenkomplex ebenso zu erfassen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die Aufzeichnungen der Versuchsdaten aus dem Funktionskreis "Fortbewegung" für die

Beobachtungsperson eine schwierige Aufgabe darstellt, weil es sich dabei um sehr schnell ablaufende Vorgänge handelt. Während die Lichtschrankentechnik wegen der charakteristischen anonymen Datenregistrierung für diesen Zweck ausscheidet, ist die Telemetrie zur Erfassung individueller Wegstrecken einsetzbar, wenn ein Einzeltier oder eine geringe Anzahl von Tieren Gegenstand der Versuchsanstellung ist.

Der mittlere bis hohe materielle Aufwand der angeführten technischen Verfahren bei der Versuchsauswertung ergibt sich aus der Notwendigkeit der Benutzung von technischen Geräten, um die Vielzahl der anfallenden Daten auszuwerten. Entsprechend der Komplexität des Datenmaterials und einer u.U. synchron verlaufenden Versuchsdurchführung und -auswertung entsteht ein graduell unterschiedlicher Aufwand, der sich auf mehrere Tausend Mark erhöhen kann (z.B. automatisierte Lichtschrankensysteme, elektronische Auswertungsanlagen, photographische Registrier- und Auswertegeräte). Aber auch die Auswertung von visuell erfaßten Daten erfolgt in der Regel durch Rechner. Ein unterschiedlicher personeller Aufwand ergibt sich aus der Notwendigkeit der Bedienung und Wartung der z.T. hochkomplizierten Gerätetechniken.

Die endgültige Entscheidung für den Einsatz eines der vier konkurrierenden Verfahren muß von der Notwendigkeit abhängig gemacht werden, das Tierverhalten individuell registrieren und quantifizieren zu können. Aus diesem Blickwinkel heraus scheidet die Lichtschrankentechnik aus, so daß schließlich die visuelle Dauerbeobachtung, die Telemetrietechnik und auch die Photogrammetrie als etwa gleichwertige Alternativen einzustufen sind. Dies gilt auch, wenn im Detail das eine oder andere Verfahren den Zielkatalog (vgl. Tab. 9) nur unter gewissen Einschränkungen erfüllen kann (z.B. Genauigkeitsanspruch). Nach Abwägung aller Argumente wurde der photographischen Registrierung in Verbindung mit der photogrammetrischen Bildmessung der Vorzug gegeben.

Der Einsatz der photographischen Aufnahmetechnik stellt aufgrund der Möglichkeit der Verwendung komplexer, leicht zu

bedienender Aufnahmesysteme keine Schwierigkeit dar. Aufgrund der Flexibilität der photogrammetrischen Bildmeßverfahren besteht die Alternative, aus der Vielzahl der möglichen Meßverfahren diejenige Methode heranzuziehen, bzw. versuchsorientiert zu entwickeln, die unter Verwendung vorhandener Geräte- teile (z.B. Minicomputer, x;y-Koordinatendigitalisierer) und unter Beachtung spezieller Anforderungen des betreffenden Einzelfalles bevorzugt zu berücksichtigen ist. Für den Liegeboxen- laufstall bedeutet dies z.B.:

- nicht fixe Objekte, sondern bewegliche
- nicht wenige Bildzahlen pro Gesamtobjekt, sondern viele
- nicht Auswertegenauigkeiten im μ -Bereich, sondern im cm-Bereich.

Da die Vermessung der Bildvorlagen nicht am Objekt, sondern an photographischen Bildern des entsprechenden Objektes vorgenom- men wird, ergeben sich eine Reihe weiterer bemerkenswerter Vor- teile der photogrammetrischen Meßmethode, wie z.B.:

- die vollständige Information durch das photographische Bild mit hohem Dokumentationswert kann beliebig oft einer Mes- sung zugänglich gemacht werden.
- Es können Objektkoordinaten, aber auch Bewegungen, Ge- schwindigkeiten u.v.a. gemessen werden.
- Der Genauigkeitsgrad der Ausmessung kann auf den vorliegen- gen Einzelfall abgestellt werden.
- Kontinuierlicher Datenfluß und Datenverarbeitung möglich.

Die in 2.3 vorgestellten Verfahren der Radiotelemetrie sind für den Einsatzort "Liegeboxenlaufstall" zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht als praxisreif anzusehen. Die praktische Umsetzung wäre nur mit einem hohen Entwicklungsauf- wand zu realisieren, der sich besonders kostenintensiv und zeit- aufwendig darstellen würde. Dabei besteht jedoch grundsätzlich die Gefahr, daß nach intensiven Entwicklungs- und Konstruk- tionsarbeiten beim Bau und Betrieb eines Systems (Verkleine- rung von Sende- und Empfangseinheiten durch veränderte Anten- nenformen, andere Frequenzbereiche usw.) die im Modell konzi- pierten Anforderungen nicht erreicht werden können.

Der hohe personelle Aufwand in der Phase der Datenregistrierung und der Unsicherheitsfaktor "Mensch" sind zwei wesentliche Gründe dafür, daß die visuelle Beobachtung nicht zur Registrierung und Quantifizierung des individuellen und herdenspezifischen Tierverhaltens herangezogen wurde, sondern der Photogrammetrie der Vorzug gegeben wurde. Allerdings muß der Hinweis erfolgen, daß das einzusetzende photogrammetrische Verfahren einem Modifikationsprozeß unterworfen werden muß, bevor ein problemloser und sinnvoller Einsatz im Liegeboxenlaufstall garantiert und gerechtfertigt werden kann. Die Bemühungen konzentrieren sich dabei besonders auf die Einbeziehung vorhandener Geräteteile in ein Verfahren der Photogrammetrie - der Nahbereichsphotogrammetrie -, das hinsichtlich der Anwendung im Liegeboxenlaufstall besonders geeignet erscheint.

3. DIE NAHBEREICHSPHOTOGRAMMETRIE ZUR REGISTRIERUNG UND QUANTIFIZIERUNG DES TIERVERHALTENS

Die photogrammetrische Bildmessung hat sich als ein geeignetes Verfahren zur Registrierung und Quantifizierung des Tierverhaltens herausgestellt. Die abstrakte Vorstellung des photogrammetrischen Meßverfahrens - der dreidimensionalen Objekt- bzw. Standortbestimmung auf der Basis von zweidimensional digitalisierten Bildkoordinaten - erfolgt nach den Kriterien "Bilderstellung" und "Bildanalyse". Im Vordergrund der Bilderstellung steht die Aufnahmetechnik (amateurhafte Nicht-Meßkammern) sowie deren Positionierung am Aufnahmeort. Das Kapitel "Bildanalyse" konzentriert sich auf die Erläuterung der eingesetzten Hardware (Minicomputer, x;y-Koordinatendigitalisierer) unter besonderer Berücksichtigung der Softwarekomponente - dem Programmpaket STERDI -.

Der Einsatz von amateurhaften Reihenbildkammern und eines computergestützten Bildanalyzesystems in Verbindung mit spezieller Software ist für den Zweck der räumlichen Bildvermessung eine neuartige Einsatzmöglichkeit des photogrammetrischen Vermessungsprinzips. Entsprechend der zentralen Bedeutung dieser Konzeption erscheint eine intensive und ausführliche Beschreibung erforderlich.

3.1 Gerätetechnische Alternativen bei der Verwendung photogrammetrischer Meßverfahren

Das Hauptanliegen der Photogrammetrie besteht in der dreidimensionalen Vermessung von zugänglichen oder auch nicht zugänglichen Objekten mittels photographischer Bildvorlagen. Die DIN 18 716 (/74/) gliedert das Arbeitsgebiet der Photogrammetrie nach den Kriterien Bilderzeugung, Aufnahmeort, Zahl der verwendeten Bilder und Auswerteverfahren. Daraus entsteht für die Anwendung im Liegeboxenlaufstall folgende Ausgangsposition:

- Die photogrammetrische Arbeitsweise beschränkt sich auf photographische Bilder.

- Die Nahbildmessung von Gegenständen (Zehntel-mm-Bereich bis zum Bereich von 100 m) reicht zur Bearbeitung der anstehenden Problemstellungen aus.
- Aufgrund der Anzahl der verwendeten Bilder kommt nur die Zweibildmessung in Frage.

Grundlegende Voraussetzungen der räumlichen, stereoskopischen Betrachtung und Vermessung von photographischen Bildern sind Bildpaare, die jeweils den gleichen Aufnahmegegenstand von zwei verschiedenen Positionen aus synchron abbilden. Diese Bildkombination wird als "Stereobildpaar oder Stereogramm" bezeichnet, wodurch die Art der Betrachtung (stereoskopisch) hervorgehoben wird. Diese ist aber nicht als zwingende Notwendigkeit anzusehen, da die Photogrammetrie auch Bildpaare auswerten kann, die zwar synchron erstellt worden sind, aber bei stereoskopischer Betrachtung den Stereoeffekt nicht oder nur andeutungsweise in Erscheinung treten lassen.

Bei der Anwendung von photogrammetrischen Meßverfahren stehen in Abhängigkeit vom speziellen Einsatzzweck verschiedene Möglichkeiten für die Bilderstellung und die Bildanalyse zur Verfügung (Abb. 15).

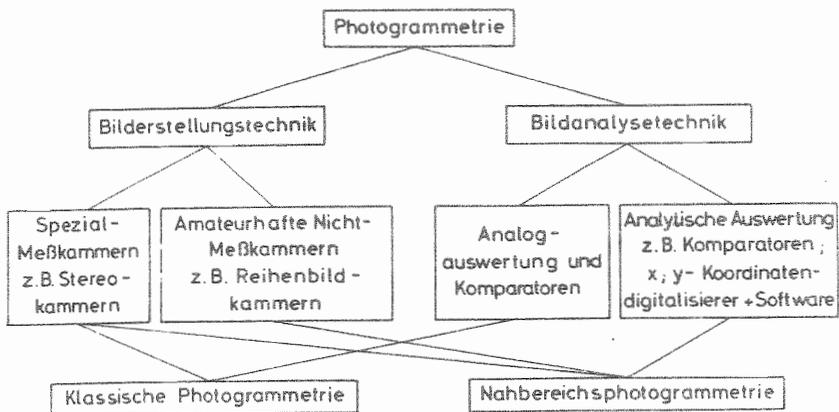


Abbildung 15: Möglichkeiten der photogrammetrischen Bilderstellung und Bildanalyse

Die klassische Bildmessung (Luftbildphotogrammetrie) setzt sowohl bei der Erstellung von photographischen Bildpaaren als auch bei der Bildanalyse hochpräzise optische Spezialgeräte voraus, weil in der Regel eine hohe Genauigkeit notwendig ist. Als Aufnahmegeräte werden überwiegend photogrammetrische Spezialmeßkammern verwendet. Es handelt sich dabei um stabile "Photoapparate", für die einige Daten, wie z.B. die Brennweite, die Verzeichnung des Objektivs und die Lage des Bildhauptpunktes bekannt sind. Die erzeugten Meßbilder werden mittels Analogauswertung und Mono- oder Stereokomparatoren analysiert. Die Analogauswertung basiert auf der analogen optischen oder mechanischen Nachbildung des Aufnahmevorganges in einem Auswertegerät bei verkleinertem Maßstab. Die Bildkoordinatenmessung im Mono- bzw. Stereokomparator liefert die Ausgangsdaten für die analytische Auswertung.

Die Nahbereichsphotogrammetrie ist nicht an das Vorhandensein einer photogrammetrischen Spezialausrüstung (Stereomeßkammer und Stereokomparator) gebunden. Als Aufnahmegeräte können Kammer fungieren, die im photogrammetrischen Sprachgebrauch als "Nicht-Meßkammern" bezeichnet werden (vgl. 2.4.1 und 3.1.1). Die hier vorgestellte analytische Bildauswertung wird über ein graphisches Bildanalysesystem vorgenommen, das aus dem $x;y$ -Koordinatendigitalisierer (anstelle eines Komparators) und dem Minicomputer besteht. Die analytische Auswertung baut auf der Messung von Bildkoordinaten auf, d.h. der Aufnahmevorgang wird mathematisch beschrieben; damit ist der elektronische Rechner in Verbindung mit spezieller Software integraler Bestandteil dieses Auswertungsverfahrens.

Die im Bereich der photogrammetrischen Bildanalysetechnik aufgeführten Möglichkeiten der Bildauswertung - mit dem Stereokomparator einerseits und der Bildanalyseeinheit aus $x;y$ -Koordinatendigitalisierer und Minicomputer andererseits - lassen sich durch eine Reihe weiterer Unterscheidungskriterien differenzieren und charakterisieren (Abb. 16).

Die Bildanalyse mit dem Stereokomparator ist auf den Stereoeffekt in den Meßbildern angewiesen, während dieser bei der Bildanalyseeinheit aus Digitalisierer und Minicomputer nicht

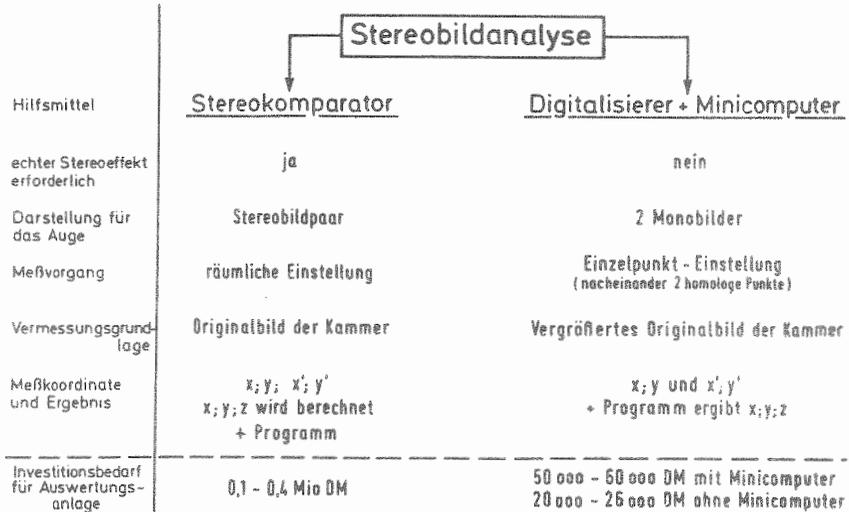


Abbildung 16: Aspekte bei der Stereobildanalyse
(nach AUERNHAMMER 1981 / 4 /)

notwendig ist. Der Meßvorgang im Stereokomparator ist durch die räumliche Einstellung der Meßmarken auf einen Objektpunkt charakterisiert, wobei die Bildkoordinaten $x; y$ des linken und $x'; y'$ des rechten Meßbildes im Gerät gleichzeitig ermittelt werden. Die Bildanalyseeinheit dagegen basiert auf einer zeitlich versetzten Koordinatenmessung für homologe Bildpunkte. Aus digitalisierten $x; y$ -Koordinaten des linken Meßbildes und homologen $x'; y'$ -Koordinaten des rechten Meßbildes werden mit Hilfe eines speziellen Auswerteprogrammes die zu bestimmenden Objektkoordinaten mathematisch rekonstruiert. Der Stereokomparator benutzt als Vermessungsgrundlage das Originalbild der Kammer, während die Bildanalyseeinheit aus Minicomputer und $x; y$ -Koordinatendigitalisierer die Messung der Objektpunkte im vergrößerten Originalbild der Kammer durchführt. Der erforderliche Investitionsbedarf für einen Stereokomparator liegt in der Größenordnung von 0,1 bis 0,4 Mio. DM. Die Alternativlösung ist bei kompletter Neuanschaffung des gesamten Systems für etwa 60-bis 70 000 DM zu erstellen.

Die hier vorgestellte Hardware - Minicomputer und x;y-Koordinatendigitalisierer - ist anstelle von speziellen Stereokomparatoren aus folgenden Gründen gewählt worden:

- Das gewünschte Genauigkeitsniveau bei der Standortbestimmung (± 30 cm) ist erreichbar, beim Stereokomparator liegt dies im μ -Bereich (bezogen auf die Bildebene).
- Die Vielzahl der anfallenden Bildpaare kann zügig und ohne übermäßige Belastung der Auswerteperson verarbeitet werden.
- Der erforderliche finanzielle und technische Aufwand ist niedrig (20-bis 60 000 DM) im Vergleich zum Stereokomparator (ca. 0,4 Mio. DM).
- Begrenzte Raumhöhen bei der Bilderstellung haben in der Regel Bildpaare zur Folge, die eine Stereobetrachtung nicht zulassen und damit die Auswertung mit analytischen Methoden bedingen.
- Auch die Verwendung von Nicht-Meßkammern zur Stereobildzeugung verlangt nach einer ausgefeilten Software zur Berechnung von Objektkoordinaten.

3.1.1.1 Nicht-Meßkammersysteme als Aufnahmegeräte zur Erstellung von Bildpaaren

Nicht-Meßkammersysteme sind hinsichtlich der Verarbeitung, der Ausstattung und besonders der kammerspezifischen, geometrischen Daten (Brennweite, Verzeichnung oder Lage des Bildhauptpunktes) den stabilen Meßkammern unterlegen. Mit der Durchführung einer Kammerkalibrierung, d.h. einer systematischen Vermessung der Kammer selbst, lassen sich die geometrischen Daten der Kammern exakt ermitteln. Eine andere Möglichkeit zur Bestimmung der geometrischen Daten bieten die Verfahren der "Selbstkalibrierung". Dabei werden die nur näherungsweise bekannten Kalibrierungswerte im Zuge der Bildauswertung korrigiert. Dieses Verfahren nimmt auch auf Instabilitäten der Kalibrierungswerte während des Aufnahmeprozesses Rücksicht und ist daher für "Amateurkamern" besonders zu empfehlen.

Der Einsatz von Nicht-Meßkammern bringt folgende Vorteile:

- Allgemeine Zugänglichkeit
- Großer Fokussierungsbereich
- Motorantrieb, daher rasche Bildfolge
- Kleines Format, wenig Gewicht, "Hand"-Aufnahmen sind möglich
- Orientierung in alle Richtungen ist möglich
- Konventionelle Filmformate

Dem stehen als Nachteile gegenüber:

- Die Objektive sind auf hohe Auflösung zu Lasten der geometrischen Qualität ausgelegt (daher oft große und unregelmäßige Verzeichnung).
- Keine Orientierungshilfen wie Kreise, Libellen, Fernrohre, d.h. die Kammern können nur ungenau ausgerichtet werden.
- Keine Vorrichtung zu Filmverebnung.

Zur Erstellung von synchronen Bildpaaren werden zwei Kammern benötigt. Die Heranziehung des gleichen Typs von Nicht-Meßkammern mit gleichen oder ähnlichen inneren Orientierungsdaten (Brennweite, Lage der Bildhauptpunkte) erleichtert die Auswertung vergleichbarer Meßbilder. Eine gewisse Problematik beinhaltet die Tatsache, daß serienmäßig gefertigte Amateurkammern des gleichen Fabrikats hinsichtlich der inneren Orientierungsdaten gewisse Streubreiten aufweisen. Diese gerätetechnischen Beschränkungen sowie die amateurhaften Rahmenbedingungen in der Phase der Bilderstellung selbst, sind als Argumente für die Integration einer rechnerischen Kalibrierung (Selbstkalibrierung) in den mathematischen Transformationsprozeß bei der Objektpunktbestimmung anzuführen (vgl. 3.4.6).

Die Forderung nach der Erstellung synchroner Bildpaare ist von grundlegender Bedeutung für die Funktion des Programmkonzeptes während der analytischen Bildauswertung (vgl. 3.4.4). Der erreichbare Synchronitätsgrad wird in erheblichem Maße von der technischen Qualität der verwendeten Nicht-Meßkammern und dem Zeitschaltgerät beeinflusst; diesem fällt die Aufgabe zu, durch Aussendung von elektrischen Impulsen den in der Regel mechanischen Verschlußmechanismus der angeschlossenen Nicht-Meßkammern möglichst gleichzeitig und mit gleicher Zeitdauer zu betätigen.

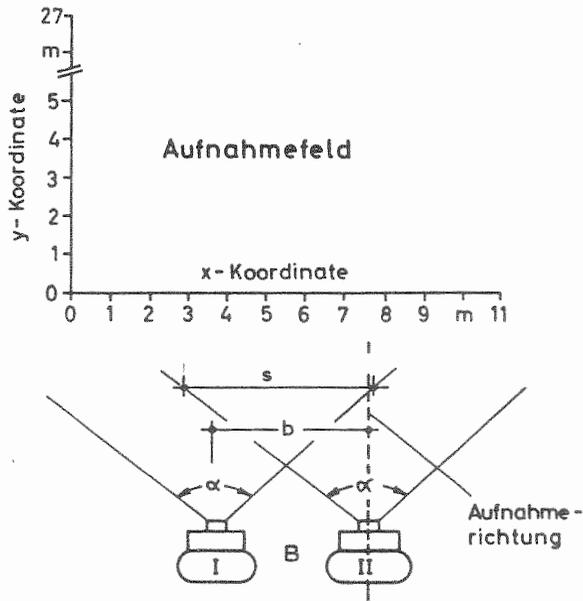
Die auf dem Markt angebotenen, amateurhaften Registrier- und Steuersysteme sind in der Regel in der Lage, bei nicht hochpräzisen photogrammetrischen Anforderungen an die Versuchsanstellung einen hohen Grad an Synchronität zu gewährleisten.

Bei intensiver Beanspruchung der Nicht-Meßkammern ist mit einem gewissen mechanischen Verschleiß des Verschlußmechanismus zu rechnen, so daß das Vermögen, gleichbleibende synchrone Bildpaare zu erzeugen, mit zunehmender Beanspruchung reduziert wird. Es ist deshalb im Einzelfall zu prüfen, welches Maß an Synchronität bei der parallelen Auslösung mehrerer Nicht-Meßkammern zu realisieren ist. Der Aspekt der Synchronität wird ferner von der Dynamik der photographisch zu registrierenden Versuchsabläufe beeinflusst. Vorgänge, die pro Zeiteinheit durch eine intensive Bewegungs- oder Geschwindigkeitskomponente gekennzeichnet sind, stellen höhere Anforderungen an das Synchronitätsniveau der Bildpaare als Versuchssituationen, die stationär ablaufen oder nur durch langsame Ortsveränderungen pro Zeiteinheit charakterisiert sind.

3.1.2 Anordnung des gesamten Aufnahmesystems am Versuchsort

Für die Erstellung von auswertbaren photogrammetrischen Bildpaaren ist die Festlegung des Aufnahmeortes unter Beachtung der räumlichen Verhältnisse und der Zielstellungen des Versuches von entscheidender Bedeutung. Der Aufnahmeort ist nach DIN 18 716 (/74/) definiert als "der Ort, in dem sich die Mitte der Eintrittspupille des Objektivs im Augenblick der Aufnahme befindet. Seine Lage ist in dem übergeordneten Koordinatensystem x, y, z des Objektes bestimmt. Erd feste Aufnahmeorte heißen auch Standpunkte; bei diesen wird der in Aufnahme richtung gesehene linke Standort mit I, der rechte mit II bezeichnet" (Abb. 17).

Das gesamte Aufnahmesystem setzt sich zusammen aus den Standorten I und II, die zueinander einen bestimmten Basisabstand (b) aufweisen (vgl. 3.1.3). Jedes Meßkammersystem erfaßt mit dem objektivspezifischen Bildwinkel (α) einen räumlich begrenzten Bereich des Aufnahmefeldes. Die Anordnung der gesamten



- I linke Nicht - Meßkammer
- II rechte Nicht - Meßkammer
- B Stereo - Aufnahmesystem
- b Basisabstand
- α Bildwinkel der Nicht - Meßkammern
- s Stereobereich für die Anordnung der Kammer mit zueinander parallelen Aufnahme-richtungen

Abbildung 17: Charakterisierung des Aufnahmeortes

Aufnahmeeinheit am Aufnahmeort bedingt die Berücksichtigung einiger wichtiger Forderungen:

- Ausnutzung einer maximalen Aufnahmehöhe (vertikaler Abstand zwischen Boden und Kammerobjektiven)
- Einstellung eines definierten Basisabstandes b (horizontaler Abstand zwischen beiden Kammerobjektiven)
- Vollständige Erfassung des Aufnahmefeldes durch beide Kammerobjektive
- Absolute Konstanz und Stabilität der Aufnahmesysteme während der gesamten Aufnahmeperiode

Die Aufnahmehöhe wird grundsätzlich beeinflusst von der zu erfassenden Rauntiefe, der Größe und Verteilung der Vermessungsobjekte und der Gebäudekonstruktion, besonders dem vertikalen Abstand von Gebäudeboden und -decke. Die Ausnutzung der maximalen Aufnahmehöhe, die gleichermaßen die z-Koordinate der Standpunkte I und II repräsentiert, erleichtert in der Phase der Bildanalyse die Identifizierung der einzelnen Objekte besonders im hinteren Bereich des Aufnahmefeldes (vgl. 4.5). Ein Freiraum von etwa 20 bis 30 cm oberhalb der Nicht-Meßkammern muß eingehalten werden, damit bei Langzeituntersuchungen und Versuchseinsätzen mit hoher Bildsequenz ein Magazinwechsel ungehindert vorgenommen werden kann.

3.1.3 Festlegung des Basisabstandes

Der Basisabstand beeinflusst mit der Rauntiefe das zu erreichende Genauigkeitsniveau der Bildanalyse. Das Basisverhältnis wird bei terrestrischen Aufnahmen ausgedrückt durch den Quotienten aus Basis und Rauntiefe $\frac{(b)}{y}$, wobei sich y auf den Abstand vom Aufnahmeort zum entferntesten Objektpunkt bezieht (DIN 18 716 /74/). Grundsätzlich sollte ein Basisverhältnis zwischen einem Fünftel und einem Zwanzigstel angestrebt werden. Je größer das Basisverhältnis gewählt wird, desto exakter erfolgt die Vermessung. Dieser Zusammenhang soll an einem Zahlenbeispiel verdeutlicht werden: Die Rauntiefe wird mit 30 m festgesetzt. Bei einem Basisabstand von 1,50 m ergibt sich ein Basisverhältnis von $\frac{b}{y} = \frac{1,50 \text{ m}}{30,0 \text{ m}} = \frac{1}{20}$. Wird der Basisabstand dagegen auf 2 m erhöht, so reduziert sich das Basisverhältnis auf ein Fünftehntel.

Bei der Forderung nach der Realisierung eines möglichst großen Basisverhältnisses sind zwei konträre und zugleich begrenzende Faktoren zu beachten, wenn die Rauntiefe als konstante Größe vorgegeben ist und damit nur über die Variable "Basisabstand" das Basisverhältnis veränderbar ist:

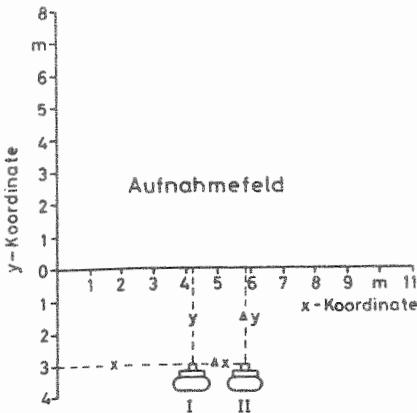
- 1) Beibehaltung des Stereoeffektes
- 2) Vollständige Erfassung des Aufnahmefeldes durch beide Kammerobjektive.

Die Wahl des Basisabstandes wird primär davon beeinflusst, in welcher Weise die resultierenden Bildpaare einer Auswertung unterzogen werden sollen. Können bei der Bilderstellung die Voraussetzungen für die Realisierung eines Basisverhältnisses von einem Fünfzehntel bis einem Zwanzigstel geschaffen werden, so ermöglicht diese Aufnahmekonstellation sowohl eine befriedigende stereoskopische Auswertung mit Hilfe eines Stereokomparators als auch eine Analyse über die analytische Bildanalyseeinheit aus x;y-Koordinatendigitalisierer und Minicomputer. Allerdings ist der Stereoeffekt nicht als Voraussetzung bei der Auswertung der Bildpaare mit der analytischen Auswertevorrichtung zu sehen. Lediglich für Kontrollzwecke sollten einzelne Bildpaare nach beiden Verfahren ausgewertet werden können. Jede Nicht-Meßkammer erfaßt in Abhängigkeit von der Brennweite und dem Bildwinkel der verwendeten Objektive einen bestimmten Bereich des Aufnahmefeldes. Zur Erstellung einer optimalen Aufnahmesituation müssen beide Aufnahmesysteme innerhalb des theoretisch vorgegebenen Bereiches horizontal solange im Abstand variiert werden, daß die Objektive beider Nicht-Meßkammern das gewünschte Aufnahmefeld vollständig erfassen. Lassen sich diese Voraussetzungen nicht erfüllen, so ist durch Verwendung anderer Objektive oder durch eine Positionsänderung der gesamten Aufnahmevorrichtung dieser Situation Rechnung zu tragen. Eine geringfügige Konvergenz der beiden Aufnahmeachsen erlaubt es, das Objekt jeweils bildfüllend in beiden Aufnahmen abzubilden.

3.1.4 Justierung und Einmessung der gesamten Aufnahmeeinheit

Nach dem Erreichen einer für den Einzelfall befriedigenden Anordnung der gesamten Aufnahmevorrichtung besteht die Notwendigkeit der endgültigen Justierung und gegenseitigen Ausrichtung der beiden selbständigen Nicht-Meßkammersysteme. Das Ziel dieses Schrittes besteht in der Schaffung einer konstanten geometrischen Aufnahmesituation, d.h. im Idealfall einer

symmetrischen Anordnung beider Nicht-Meßkammersysteme zum Aufnahme-feld, so daß diese als eine homogen ausgeglichene Aufnahmeeinheit ständig äquivalente Bildpaare erzeugt. Dieser Vorgang kann in der Regel durch amateurhafte Hilfsmittel (Meßplatten, Wasserwaagen) und bei sorgfältiger Arbeitsweise mit hoher Präzision vorgenommen werden. Die geometrische Aufnahmesituation der beiden Nicht-Meßkammern wird durch die Koordinaten der Aufnahmeorte und die Drehwinkel beschrieben, die unter dem Begriff "äußere Orientierungsparameter" zusammengefaßt werden. Die Koordinaten der Aufnahmeorte legen die exakte Lage der Nicht-Meßkammern am Aufnahmeort fest (Abb.18).



Beispiel:

$x_o = 4,259\text{ m}$
 $y_o = 3,128\text{ m}$
 $z_o = 4,086\text{ m}$ } Koordinaten der linken Nicht-Meßkammer

$x_f = 5,952\text{ m}$
 $y_f = -3,116\text{ m}$
 $z_f = 4,080\text{ m}$ } Koordinaten der rechten Nicht-Meßkammer

I = linkes Aufnahmesystem

II = rechtes Aufnahmesystem

Δx = Basisabstand

Abbildung 18: Darstellung der Koordinaten der Aufnahmeorte am Beispiel des Liegeboxenlaufstalles

Der linke Aufnahmeort ist als $x; y; z$ -Koordinatenpunkt festgelegt und bezieht sich auf einen am Versuchsort definierten Nullpunkt eines übergeordneten Koordinatensystems. Der rechte Standort kann jeweils als Differenz zum linken (x_o, y_o, z_o) definiert werden. Der Wert Δx entspricht dem Basisabstand b (vgl. 3.1.3).

Zur Charakterisierung der äußeren Orientierungen der Nicht-Meßkammersysteme dienen außerdem jeweils drei Drehwinkel (Orientierungswinkel) φ, ω, χ (Abb. 19).

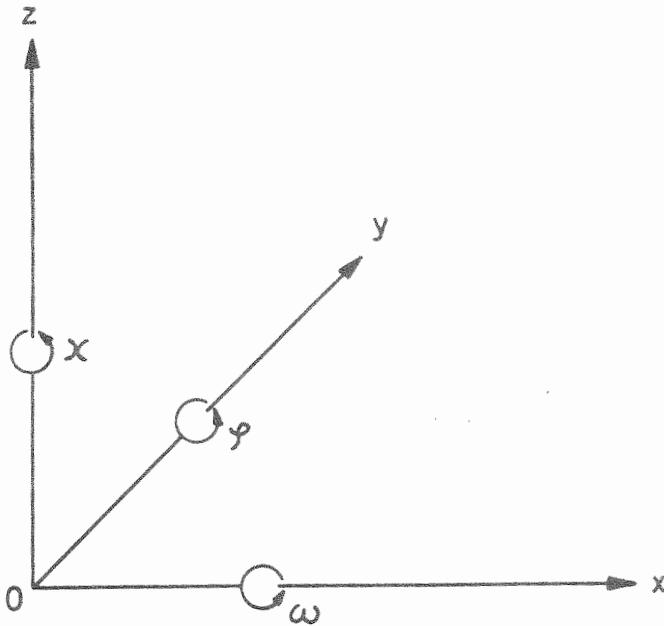


Abbildung 19: Darstellung der Orientierungswinkel

Der Winkel φ wird durch die Drehung um die y -Achse beschrieben. Der Winkel ω repräsentiert die Drehung um die x -Achse (Basis). Der Winkel χ beschreibt die Drehung um die z -Achse. Die Drehwinkel beider Nicht-Meßkammern nehmen Bezug auf die jeweiligen Drehungen um die Achsen des übergeordneten Raumkoordinatensystems. Die Drehungswinkel φ , ω , χ des linken Aufnahmesystems werden als solche berechnet. Die entsprechenden Winkel des rechten Aufnahmesystems sind als Differenzwerte zum linken Aufnahmesystem definiert.

Die Beibehaltung einer stabilen und konstanten Lage des gesamten Aufnahmesystems am Versuchsort garantiert eine nahezu konstante geometrische Aufnahmesituation in den erstellten Bildpaaren über die gesamte Aufnahmeperiode. Da jedoch

unter praktischen Versuchsbedingungen eine anhaltend stabile Fixierung des Aufnahmesystems nicht immer gewährleistet sein muß, und sich dann hinsichtlich der Orientierungsparameter Veränderungen innerhalb gewisser Grenzwerte einstellen können, muß dieser Situation im Auswerteprogramm Rechnung getragen werden (vgl. 3.4.6).

Die Bestimmung der Lagekoordinaten beider Nicht-Meßkammern erfolgt parallel zum Vorgang der geodätischen Vermessung des Paßpunktsystems am Versuchsort (vgl. 3.2). Die exakte Bestimmung der Drehungswinkel (ρ, ω, κ bzw. $\rho_0, \omega_0, \kappa_0$) am Versuchsort ist nicht möglich, da Nicht-Meßkammersysteme über keine kammerspezifischen Hilfseinrichtungen zur Ermittlung der aktuellen Neigungsverhältnisse verfügen. Die Gesamtheit der äußeren Orientierungsparameter wird in einer Datei festgehalten.

3.2 Funktion und Anordnung des Paßpunktsystems

Paßpunkte allgemein sind "die der absoluten Orientierung von Einzelbildern, Bildpaaren oder Bildgruppen dienenden, in Bild- und Dingraum (Karte, Gelände) sicher zu identifizierenden Punkte, deren Koordinaten mit übergeordneter Genauigkeit bekannt sind" (DIN 18 716 /74/). Bei der gewählten Methode der analytischen Bildmessung werden die Objektpunktbestimmungen durch mathematische Rekonstruktionen der zusammengehörenden Strahlenbündel vorgenommen, die bei der Bilderstellung von beiden Kamern ausgesendet werden und in den Objektpunkten konvergieren. Für die Lösung dieser Aufgabenstellung werden ortsfeste Punkte (Paßpunkte) am Objekt selbst und in den resultierenden Bildpaaren benötigt. Ist die Lage einiger Paßpunkte in einem Bildpaar bestimmt worden, so ist es möglich, die Orientierung des Meß- bzw. des Bildpaares vorzunehmen. Dazu sind die mathematischen Beziehungen zwischen Bildpunkt, Aufnahmeort und Objektpunkt notwendig.

Die Signalwirkung eines Paßpunktes basiert auf der Ausnutzung des Schwarzweiß-Kontrastes (Abb. 20).

Originalgröße: D = 150 mm

Materialstärke: 2,5 mm

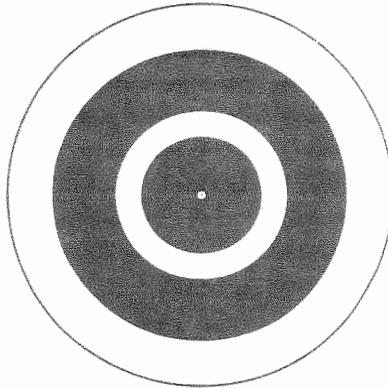


Abbildung 20: Zielmarke zur Signalisierung von Paßpunkten im Objektraum

Für die Herstellung der runden Paßpunktscheiben bietet sich 3 mm starkes, präpariertes Plastikmaterial an, das zur Hälfte aus einer schwarzen und zur anderen Hälfte aus einer weißen Schicht besteht. Durch alternierendes Ausfräsen der oberen weißen Schicht entsteht eine Folge von schwarzen und weißen Ringen, die in ihrer Gesamtheit ein eindeutiges zentrisches Signal ergeben. Zur Befestigung der Paßpunktscheiben sind diese mittig mit einer Bohrung zu versehen.

Bei der Anordnung des Paßpunktsystems am Aufnahmeort ist besonders zu beachten:

- 1) Zahl der Paßpunkte
- 2) Lagestabile Fixierung der Paßpunkte an den jeweiligen Anbringungsort
- 3) Sicherstellung der eindeutigen Identifizierung der Paßpunkte am Aufnahmeort

Zur Aufrechterhaltung der Funktion des Programmkonzeptes wird ein Paßpunktsystem benötigt, das mindestens durch zwei lagemäßig und drei höhenmäßig bekannte Paßpunkte beschrieben werden kann, die nicht auf einer Geraden liegen dürfen. Zudem ist es angebracht, bei einer praktischen Versuchsdurchführung mehr als nur die minimale Zahl von fünf Paßpunkten anzubringen. Aufgrund der Mobilität und "Aggressivität" der Meßobjekte ist jederzeit mit dem Ausfall des einen oder des anderen Paßpunktes zu rechnen. Dieser Fall tritt ein, wenn beispielsweise Tiere Paßpunkte verdecken, so daß diese nur in einem oder möglicherweise keinem Meßbild identifiziert werden können. Hinsichtlich der erforderlichen Anzahl der zu signalisierenden Paßpunkte am Aufnahmeort kann als Richtwert 10 angegeben werden. Die Anzahl der Paßpunkte bestimmt schließlich auch den Umfang von Korrekturansätzen für die Bildkoordinaten.

Eine weitere Ausfallursache ist darin zu sehen, daß sich durch Kontakt der "Meßobjekte" mit dem Paßpunkt selbst eine Lageveränderung ergeben kann. Eine geringfügige Verschiebung eines Paßpunktes hat zur Folge, daß die Einpassung der Meßbilder auf die vorgegebenen, geodätisch gemessenen Paßpunktkoordinaten mit systematischen Restfehlern im Meßbild belastet sein können (vgl. 4.5). Damit ist die lagestabile Fixierung der Paßpunkte am Versuchsort eine wesentliche Voraussetzung des gesamten Meßverfahrens.

Die Anbringung der Plastikscheiben auf einer ebenen Fläche ist zu bevorzugen, da durch glattes, vollständiges Anliegen der Paßpunktscheiben auf dem Untergrund eine solide und dauerhafte Fixierung möglich ist. Als Befestigungsgrundlage bieten sich besonders Wände oder Balken an; damit kann die Lagekonstanz der Paßpunkte in hohem Maße garantiert werden, wenn auch aus besonderen Umständen heraus die Anbringung einzelner Paßpunkte im Zugrifffeld der Meßobjekte nicht zu umgehen ist.

Die Sicherstellung der eindeutigen Identifizierung der Paßpunkte über die gesamte zu beobachtende Raumtiefe ist schließlich eine weitere unabdingbare Voraussetzung. Entsprechend der

Funktion der Paßpunkte muß die Anordnung des Paßpunktsystems zu gleichen Teilen über den gesamten zu beobachtenden Raum erfolgen. Die im vorderen Bereich des Aufnahmegebietes fixierten Paßpunkte erlauben eine deutliche Unterscheidung der einzelnen Ringe und des Zentrums der Paßpunktscheiben. Mit zunehmender Raumtiefe reduziert sich kontinuierlich das Erscheinungsbild von Paßpunkten in der photographischen Abbildung. Die Größe eines Paßpunktes ist dann als ausreichend zu betrachten, wenn der Paßpunkt bei maximaler Entfernung von dem Kammerobjektiv auf den photographischen Meßbildern als solcher eindeutig signalisiert werden kann.

Paßpunktscheiben von etwa 15 cm Durchmesser mit jeweils zwei weißen und zwei schwarzen Ringen, sind bis zu einer Entfernung von etwa 30 m vom Aufnahmeort als deutliche Signale mit den einzelnen Ringen auf den Meßbildern zu identifizieren. Das Signalisieren des Aufnahmegebietes mit Hilfe des Paßpunktsystems kann jedoch auch durch eine variable Gestaltung der Durchmesser der einzelnen Paßpunktscheiben erreicht werden. Dabei wird vom entferntesten Aufnahmepunkt zum Aufnahmeort hin eine Staffelung in der Größe der Paßpunkte vorgenommen. Im Vordergrund des Bildes fungieren Scheiben mit dem geringsten Durchmesser als Signalpunkte, im Hintergrund werden Paßpunkte mit dem größeren Durchmesser angebracht.

Nach Abschluß der Aufstellungsarbeiten der gesamten Aufnahmesystems und im Anschluß an die endgültige Fixierung des Paßpunktsystems am Versuchsort muß eine geodätische Einmessung des gesamten Systems erfolgen. Die Vermessung liefert als Endergebnis:

- Die individuelle Lage jedes einzelnen Paßpunktes (x-,y-,z-Koordinaten)
- Die Koordinaten der Aufnahmeorte (x-,y-,z-Koordinaten)
- Die Drehwerte der Kammer

Für die Durchführung des Meßvorganges kann ein Theodolit herangezogen werden. Die Erfassung der Koordinatenwerte der einzelnen Parameter erfolgt nach dem Prinzip des räumlichen Vorwärtsschnittes (FINSTERWALDER u.HOFMANN 1968 /18/). Die aus diesem Vermessungsvorgang resultierenden Meßwerte fließen nach entsprechender Aufbereitung in die Paßpunktdatei ein (vgl.3.4.5.1).

3.3 Bilderzeugung entsprechend versuchstechnischer Anforderungen

Aus photogrammetrischer Sicht kann die Aufnahmesituation als ausreichend betrachtet werden, wenn die geschilderten Anforderungen an den Standort des Aufnahmesystems und dessen Stabilität garantiert werden können. In der Phase der Bilderstellung sind einige versuchsspezifische und aufnahmetechnische Aspekte zu berücksichtigen:

- Spezifische Fragestellungen der jeweiligen Versuchsanstellung (vgl. 3.3.1)
- Lichtverhältnisse am Aufnahmeort (vgl. 3.3.2)
- Kammertechnische Ausrüstung (vgl. 3.3.3)

3.3.1 Spezifische Fragestellungen des Versuches

Die Auswirkungen dieses Themenkomplexes beziehen sich auf eine thematisch, fachspezifische und eine technische Komponente, denen im Einzelfall durch verschiedene Maßnahmen Rechnung getragen werden muß (Abb. 21).

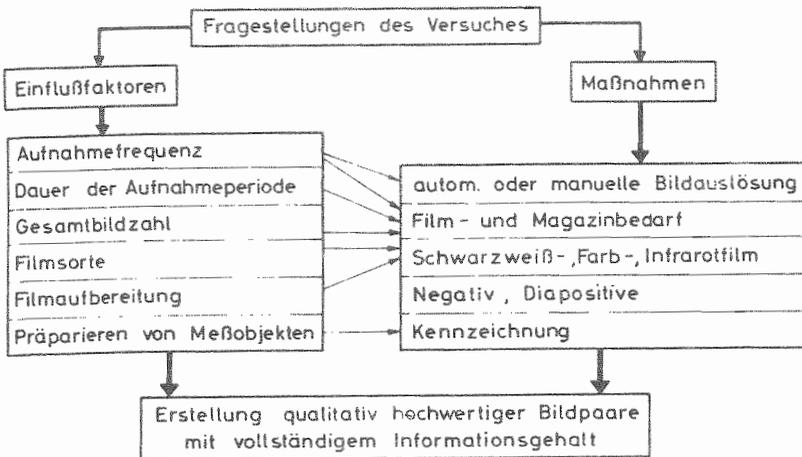


Abbildung 21: Fachspezifische und technische Faktoren bei der Erstellung von Bildpaaren

Als Einflußfaktoren treten Aufnahmefrequenz, Dauer der Aufnahmeperiode, Gesamtbildzahl, Filmsorte, Art der Filmaufbereitung, sowie die Kennzeichnung von Meßobjekten in Erscheinung. Unter der Voraussetzung einer 24-stündigen Aufnahmeperiode, einer Bildzahl pro Stunde von 60, einem Filmformat von 24 x 36 mm wird insgesamt ein Filmbedarf von ca. 55 m erforderlich. Darin enthalten ist bereits die Filmmenge, die sich jeweils als Leerzone zwischen den aufeinanderfolgenden Aufnahmen befindet. Beim Filmeinlegen in Ansatzmagazine entsteht - in Abhängigkeit vom Magazintyp - ein zusätzlicher Filmbedarf von ca. 30 bis 50 cm.

Die Zahl der insgesamt zu erstellenden Bildpaare beeinflußt die Dimensionierung des Filmträgers. Für kurze, zeitlich unterbrochene Aufnahmeperioden mit einer geringen Bildzahl können handelsübliche Patronen mit z.B. 20 oder 36 Bildern verwendet werden. Bildintensive Aufnahmeserien erfordern den Einsatz mehrerer, großvolumiger Magazine als Filmträger, wie z.B. von 30-, 60-, 90- oder 150-m-Magazinen.

Besonders bei ethologischen Fragestellungen ist oft eine zusätzliche Markierung der Meßobjekte vorzunehmen, da die natürlichen Unterscheidungsmerkmale nicht ausreichend erscheinen. Bei der individuellen Erfassung und Vermessung mehrerer homogener Objekte ist deren eindeutige Kennzeichnung von grundlegendem Interesse. Die Markierung muß in Abhängigkeit von der Größe, der Anzahl, dem möglichen Bewegungsradius und der Bewegungsintensität der Meßobjekte vorgenommen werden. Bei der Markierung von beweglichen Objekten, z.B. von Rindern, ist die mehrfache, beidseitige Kennzeichnung unbedingt erforderlich. Als Symbole zur Markierung bieten sich bei einer Vielzahl von Objekten Zahlenkombinationen an. Bei einer geringen Anzahl von Meßobjekten können auch geometrische Symbole (Kreise, Balken, Dreiecke usw.) verwendet werden. Die jeweilige Größe der Markierungssymbole an den Meßobjekten ist so zu wählen, daß diese bei maximaler Raumentiefe noch eindeutig zu identifizieren sind.

Die Forderung des Programmkonzeptes, identische Punkte an Meßobjekten auf beiden Bildern eines Bildpaares zur Verfügung zu stellen, kann besondere, optisch gut reproduzierbare und lagekonstante Meßpunkte am Meßobjekt erfordern, wenn diese nicht in entsprechender Form vorliegen. Für die künstliche Markierung von Meßpunkten in Form einer kreisförmigen Fläche bietet sich die Ausnutzung anatomisch eindeutiger Punkte an, wenn es sich um tierische Meßobjekte handelt (z.B. Widerriste von Kühen).

Zur eindeutigen Darstellung und Dokumentation des Versuchsgeschehens stehen verschiedene Filmsorten (Schwarzweiß-, Farb- oder Infrarotfilme) zur Verfügung. Wenn die Formate von Filmtyp und Meßkammer (z.B. 24 x 36 mm) übereinstimmen, kann jede formatgleiche Filmsorte zur Bilderstellung herangezogen werden. Farbfilmen ist dann der Vorzug zu geben, wenn über die farbliche Differenzierung die Identifizierung der Meßobjekte deutlich vereinfacht werden kann oder bestimmte Versuchsabläufe durch die farbige Dokumentation besonders eindrucksvoll erfaßt werden können.

Die Zahl der für einen Versuch insgesamt zu erstellenden Bilder, und die Verarbeitungsform sind zwei weitere Faktoren, die bei der Filmauswahl mitentscheidend sind. Bei der Erstellung nur weniger Bildpaare (100 oder 200) ist die finanziell aufwendigere Farbtechnik eher zu rechtfertigen, als bei der Produktion von Bildserien mit beispielsweise 2 000 Bildpaaren, wobei sich aufnahmetechnisch beide Vorgänge zunächst nicht unterscheiden. Lediglich in der Entwicklung des belichteten Filmmaterials heben sich beide Verfahren voneinander ab. Die Schwarzweiß-Entwicklungstechnik ist mit relativ geringem materiellen und fachlichen Anspruch vom Versuchsansteller selbst auszuführen: Erstellung von Negativen, Positiven, Kontaktabzügen usw.. Der Entwicklungsprozeß von Farbfilmmaterial und dessen weitere Aufbereitung ist dagegen in der Regel nur von kommerziellen Kopier- oder Entwicklungslabors durchzuführen und ist daher kosten- und zeitaufwendiger.

Die Form der Bildvorlage ist aus programmtechnischer Sicht als zweitrangig zu betrachten, da prinzipiell alle Bildvorlagen vermessen werden können.

3.3.2 Lichtverhältnisse am Aufnahmeort

Im Rahmen einer konkreten photogrammetrischen Versuchsanstellung kann sich der Komplex der Beleuchtungsstärke am Aufnahmeort als ein sehr entscheidender Einflußfaktor herauskristallisieren (Abb. 22).

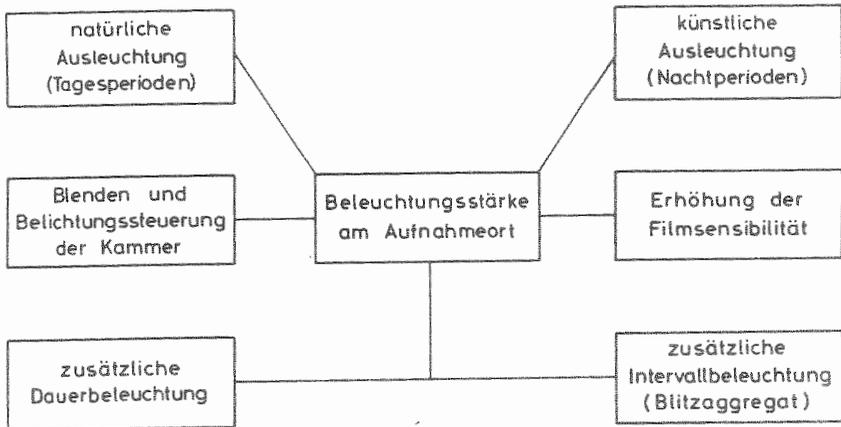


Abbildung 22: Möglichkeiten zur Beeinflussung der Beleuchtungsstärke am Aufnahmeort

Da bei Aufnahmefeldern innerhalb geschlossener Gebäude in der Regel ein Lichtdefizit zu erwarten ist, ist die Verwendung von höher sensibilisiertem Filmmaterial (z.B. 27 DIN-Film) eine gangbare Alternative, sofern dieses in der benötigten Konfektionierung im Handel erhältlich ist. Sollte dies nicht genügen, ist durch die Heranziehung künstlicher Beleuchtungsquellen eine ausreichende Beleuchtungssituation zu schaffen. Als Beleuchtungseinrichtungen können gebäudeinterne Beleuchtungsquellen (eine bestimmte Zahl von Neonröhren) und/oder mobile leistungsstarke Scheinwerfer fungieren. Diese Beleuchtungskörper leuchten in der Regel das Aufnahmefeld kontinuierlich über die gesamte Versuchsperiode aus, also auch dann, wenn gerade

kein Bildpaar erstellt wird. Blitzgeräte dagegen arbeiten synchron mit dem Verschlussmechanismus der Kammern und leuchten das Aufnahmefeld punktuell aus, wenn eine Aufnahme erzeugt wird. Unterbleibt aufgrund einer technischen Störung des Blitzgerätes die von dem Verschlussmechanismus der Kammern gesteuerte synchrone Ausleuchtung, so ist die erzeugte Aufnahme nicht zu analysieren.

Die grundsätzliche Frage, ob Dauerbeleuchtungseinrichtungen (z.B. Scheinwerfer) oder der Intervallbeleuchtung (Blitzgeräte) der Vorzug einzuräumen ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- Beeinträchtigung des Versuchsgeschehens durch die Lichtquelle
- Dauer der Aufnahmeperiode
- Auszuleuchtende Raumtiefe
- Funktionssicherheit der Beleuchtungseinrichtungen

Die dem jeweiligen Versuch zugrundeliegenden, fachlichen Fragestellungen entscheiden primär, welche der künstlichen Beleuchtungsquellen ohne Beeinträchtigung des natürlichen Versuchsgeschehens heranzuziehen ist. Der Einsatz von künstlichen Dauerbeleuchtungseinrichtungen erbringt insgesamt folgende Vorteile:

- Die gleichbleibende Lichtintensität am Versuchsort und die lichtenunabhängige Bildauslösung garantieren die Erstellung von Bildern mit konstanter Bildqualität.
- Besondere Eignung für bildintensive Langzeitversuche.
- Unter staltklimatischen Einsatzbedingungen weniger stör anfällig.
- In Abhängigkeit von der Spezies ist bei der Beobachtung lebender Versuchsobjekte keine negative Beeinflussung zu erwarten, wenn eine gewisse Eingewöhnungszeit vorgeschaltet wird.

Als Nachteile sind folgende Kriterien zu nennen:

- Leistungsstarke Scheinwerfer bedingen hohe Anschlußwerte.
- Bei langgestreckten Aufnahmefeldern gestaffelte Anordnung mehrerer Scheinwerfer erforderlich.
- Hohe Investitionskosten für die Scheinwerfer bei der notwendigen Neuanschaffung.

Der Einsatz künstlicher Intervallbeleuchtung in Form von Blitzgeräten oder der punktuellen Zuschaltung von Dauerbeleuchtungseinrichtungen ist unter folgenden Aspekten zu sehen:

- Besondere Eignung bei Kurzzeitversuchen mit geringer Aufnahme Frequenz.
- Ständiger Wechsel zwischen hell und dunkel beeinflusst u.U. die Reaktion lebender Versuchsobjekte.
- Die kurzzeitige Ausleuchtung besonders großflächiger Versuchsterritorien erfordert leistungsstarke Blitzgeräte, die situationsbedingt gestaffelt angebracht werden müssen.
- Die Funktionssicherheit von Blitzanlagen unter schwierigen Umweltverhältnissen bei längerer Einsatzdauer und bildintensiven Versuchsperioden kann nicht gewährleistet werden.

Entsprechend den aufgezeigten Adaptionsmöglichkeiten kann jeder Aufnahmesituation Rechnung getragen werden. Gleichzeitig ist festzustellen, daß mit zusätzlich erforderlichen Beleuchtungseinrichtungen eine höhere finanzielle Belastung einhergeht.

Bisherige Erfahrungen, die bei zahlreichen Versuchsanstellungen auf photographischer Basis in Stallgebäuden gesammelt wurden, zeigen, daß die natürlich vorkommende Lichtmenge am Versuchsort auch bei tageszeitlichen Versuchsperioden in der Regel nicht ausreicht. Diese Aussage gilt unter der Prämisse, daß bei Filmmaterial mittlerer Sensibilität (z.B. 18 oder 21 DIN) die kammertechnischen Möglichkeiten (Blende und Belichtung) vollständig ausgeschöpft werden, d.h. bei voller Blendenöffnung und einer, aufgrund der dynamischen Versuchsabläufe noch zu tolerierenden Belichtungszeit von einer fünfzehntel oder einer dreißigstel Sekunde. Unter dieser Konstellation ist auch bei tageszeitlichen Aufnahmeperioden die Hinzuziehung von künstlichen Beleuchtungseinrichtungen oft unumgänglich.

3.3.3 Kammertechnische Ausrüstung

Jedes Meßkammersystem ist in seiner Ausführungsform durch einige typische, technische Details charakterisiert, die bei der Versuchsplanung besonders zu beachten sind (Abb. 23).

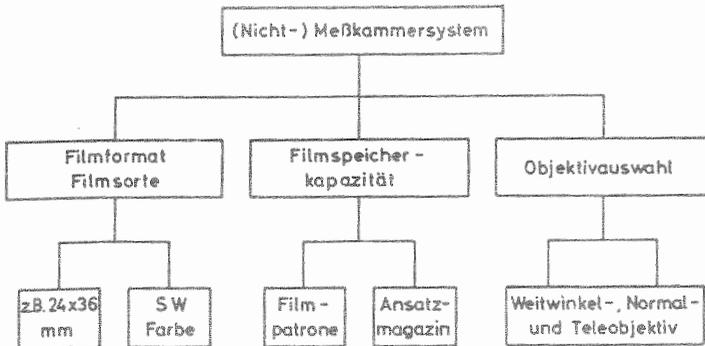


Abbildung 23: Technische Komponenten eines (Nicht-)Meßkammersystems

Mit der Entscheidung für den Einsatz eines Nicht-Meßkammersystems wird zwangsläufig das Filmformat festgelegt, während hinsichtlich der Filmsorte - mit Ausnahme der Formatübereinstimmung zwischen Filmmaterial und Kammer sowie den Punkten Filmspeicherkapazität und Objektivauswahl - weitreichende Anpassungsmöglichkeiten gegeben sind.

Die Mehrzahl der auf dem Markt angebotenen amateurhaften Registrierersysteme mit der Möglichkeit der Filmbevorratung verwenden das Kleinbildformat (24 x 36 mm). Eine Meßkammer, die auf ein bestimmtes Filmformat ausgelegt ist, verarbeitet prinzipiell alle formatgleichen Filmsorten. Neben den Kammerherstellern hat sich auch die filmverarbeitende Industrie auf die schnelle und automatisierte Verarbeitung dieses Bildformats eingestellt.

Nicht-Meßkammersysteme zur Langzeitregistrierung von Versuchssituationen sind in der Regel mit großvolumigen Ansatzmagazinen auszustatten. Die kammer-spezifischen Magazinsysteme erlauben eine variable Filmbevorratung. Der Vorteil von großdimensionierten Magazinen kommt besonders dann zum Tragen, wenn bildintensive Aufnahmeserien zu erstellen sind, weil die Häufigkeit des Magazinwechsels stark reduziert werden kann. Alle Kammer sind in der Regel mit einer Mehrzahl von firmenspezifischen Objektiven auszurüsten, so daß mögliche Objektivvarianten vom Weitwinkelobjektiv bis zum Teleobjektiv Verwendung

finden können. Aufgrund der mannigfaltigen Auswahlmöglichkeiten ist nahezu allen Aufnahmesituationen durch die Heranziehung des geeigneten Objektivs Rechnung zu tragen.

3.4 Bildanalyse

In den vorausgegangenen Kapiteln wurde die Bilderstellung aus gerätetechnischer und aus organisatorischer Perspektive erläutert. Zur Fortführung des Verfahrens stehen nun auswertbare Bildpaare zur Verfügung, die einem Vermessungsprozeß unterzogen werden müssen. Unabhängig von der Form des erzeugten Bildmaterials wird für diesen Prozeß ein Bildanalyse-System benötigt (Abb. 24).

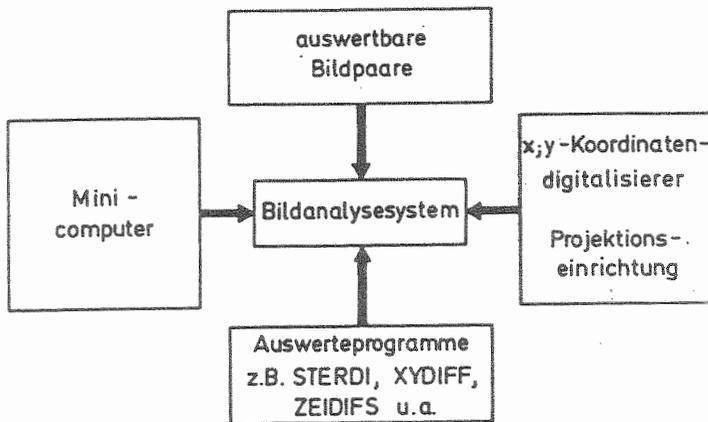


Abbildung 24: Bestandteile des Bildanalyse-Systems

Als Kernstück des Bildanalyse-Systems fungiert einerseits eine Hardware-Komponente, andererseits eine Software-Komponente. Die Hardware-Komponente setzt sich hier zusammen aus dem Mini-computer und dem x,y-Koordinatendigitalisierer. Bei der Vermessung projizierter Bildpaare wird diese Ausstattung durch eine Doppelprojektionseinheit ergänzt. Die Software besteht aus einem speziellen Auswertprogramm STERDI (AUERNHAMMER u. STEPHANI 1981 /80/). Zur Aufbereitung der analysierten Daten werden außerdem anwendungsspezifische Programme benötigt, die

sich auf den Vorgang der mathematischen Analyse und der statistischen Absicherung beziehen. Aufgrund der unterschiedlichen Struktur und der zentralen Bedeutung der Einzelaspekte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erfolgt eine detaillierte Beschreibung der Einzelkomponenten.

3.4.1 Anforderungen an den Minicomputer

Der Minicomputer muß im online-Betrieb mit dem x;y-Koordinatendigitalisierer folgende Aufgaben übernehmen:

- Durchführung und Überwachung des Digitalisiervorganges
- Mathematische Aufbereitung der digitalisierten Daten mit einer versuchsorientierten Ausgabe der Ergebnisse

Aus der Programmstruktur des Auswerteprogrammes ergeben sich folgende Anforderungen an den Minicomputer:

- Mindestspeicherkapazität von 54 k-Byte
- Programmiersprache FORTRAN IV
- online-Betrieb
- Interface für x;y-Koordinatendigitalisierer
- Leistungsfähige Hardcopy mit ausreichender Speicherkapazität (Disketten oder Kassetten).

Die Mindestspeicherkapazität von 54 k-Byte resultiert aus dem Sachverhalt, daß das Programmpaket einen Speicherraum von 54 k-Byte benötigt, wenn gleichzeitig 50 Objektpunkte und 20 Paßpunkte mathematisch analysiert werden sollen.

Der online-Betrieb über ein passendes Interface ist als eine zwingende Voraussetzung des gesamten Verfahrens anzusehen, da das interaktive Auswerteprogramm den gesamten Digitalisierprozeß steuert.

Alle auf dem Markt angebotenen Minicomputer, die diese grundsätzlichen Bedingungen erfüllen, können in das System integriert werden, wenn nur programmtechnische Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Bei der Auswahl des Minicomputers kommt aber gleichzeitig der Verarbeitung des anfallenden Datenmaterials Aufmerksamkeit zu. Die Kapazität des Minicomputers und der Hardcopy erlaubt neben einer unbegrenzten Datenerhebung online mit dem x;y-Koordinatendigitalisierer die voll-

ständige Verrechnung des anfallenden Datenmaterials, das in einem befristeten Versuchszeitraum anfällt. Die Aufbereitung längerfristiger Versuchszeiträume mit einer hohen Informationsdichte bedingt die Nutzung leistungsfähiger Rechensysteme. Mit der Möglichkeit der Datenfernverarbeitung steht der Nutzung adäquater Rechensysteme nichts im Wege, wenn der Aspekt der Kompartibilität hinreichend berücksichtigt wird.

3.4.2 x;y-Koordinatendigitalisierer und Doppelprojektionseinheit

x;y-Koordinatendigitalisierer (vgl. 2.4.4.2) sind in der Regel so konzipiert, daß online-Prozesse mit Minicomputern verschiedener Fabrikate und Speicherkapazitäten prinzipiell realisierbar sind.

Die Auswahl der Tablettgröße wird von der photogrammetrischen Forderung bestimmt, bei der Projektion auf das Meßtablett eine zehn- bis zwölffache Maximalvergrößerung des Originalnegativformats von 24 x 36 mm zu realisieren. Aufgrund der Vergrößerung können Bildpunkte eindeutiger identifiziert werden und das Digitalisieren kann damit präziser vorgenommen werden (vgl. 4.5). Die Forderungen nach einer optimalen Projektionsgröße können bei einer Tablettgröße von 76 x 102 cm hinreichend berücksichtigt werden.

Die Abmessungen des Meßtablets und der spezielle Anwendungszweck (Digitalisierung projizierter Bildpaare mit großer räumlicher Tiefe) verursachen zusätzlich eine gerätetechnische Vorrichtung, um das äußerst empfindliche Meßtablett einerseits stabil zu fixieren, andererseits in der Neigung variieren zu können (Abb. 25).

Das komplette System setzt sich - aufgrund der Forderung nach vielseitiger Nutzung - aus zwei Baugruppen zusammen:

- dem Grundgestell mit Meßtablett
- dem Tragrahmen zur Anbringung der beiden Einzelprojektionssysteme

Als Grundgestell kann der drehbare Sockel einer Zeichenmaschine fungieren. Das ursprüngliche Zeichenbrett muß dann durch

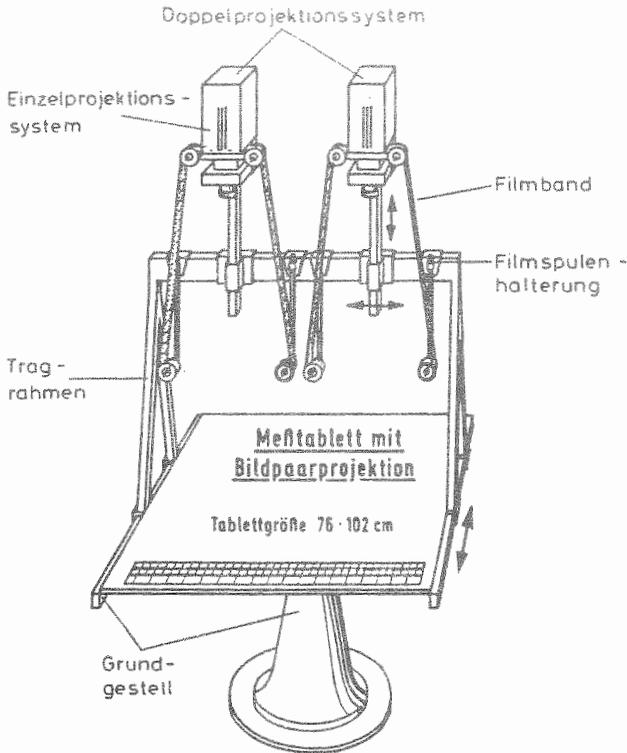


Abbildung 25: Vorrichtung für die Projektion von Bildpaaren auf ein Meßtablett

einen stabilen Eisenrahmen ersetzt werden. Dieser ist auf die Abmessungen des Tablettts abzustimmen, damit eine waagrechte Auflage des Tablettts auf dem Rahmen garantiert wird. Die massive Ausführung des Unterbaues mit Rechteckrohren (80 x 40 mm) bewirkt eine erschütterungsfreie und verwindungsunempfindliche Lagerung des Meßtablettts. Das auf dem Eisenrahmen fixierte Meßtablett sollte horizontal und vertikal verstellbar sein und erlaubt somit dem jeweiligen Benutzer die individuelle Einrichtung. Die vertikale Verstellung des Meßtablettts trägt zu einer Reduzierung von Parallaxendifferenzen bei, da die optische Ebene des Auges und die der Bildfläche nahezu parallel eingestellt werden kann.

Die zweite Baugruppe - der Tragrahmen des Doppelprojektionssystems - kann auf den beiden seitlichen Führungsschienen des Tablettrahmens befestigt werden und ist somit über die gesamte Seitenlänge des Rahmens zu bewegen. Die beiden Einzelprojektionssysteme sollten als separate Einheiten senkrecht auf dem Tragrahmen konstruiert sein.

Ein Einzelprojektionssystem kann sich im einzelnen zusammensetzen aus einem Diaprojektor und einer besonders präparierten Filmführung (vgl. Abb. 26). Dieses sollte über eine spezielle Rohrhalterung so flexibel auf dem Tragrahmen anzubringen sein, daß mit Hilfe zusätzlicher Einstellvorrichtungen sowohl eine grobe als auch eine exakte Justierung der projizierten Meßbilder auf dem Meßtabellett möglich ist.

Als Projektionsgeräte lassen sich handelsübliche Diaprojektoren einsetzen. Geräte mit lichtstarken Halogenlampen können die Qualität der projizierten Bilder wesentlich verbessern. Für die Projektion von Bildpaaren, die als Filmbänder mit beliebiger Länge vorliegen, ist zwischen der Lichtquelle des Projektors und dem Objektiv eine spezielle Filmführung einzusetzen (Abb. 26).

Diese Vorrichtung kann aus zwei parallel fixierten Glasplatten und zwei Führungsrollen bestehen. Das Filmmaterial wird somit zwischen den zwei Glasplatten gleichmäßig geführt. Die vor- und nachgelagerten Transport- und Führungsrollen können dazu beitragen, daß das Filmband bereits in der richtigen Lage zu- oder abgeführt wird, so daß eine stabile ebene Filmlage bei der Projektion möglich ist. Die Glasplatten können auch bei längerer Einwirkung der Projektionsstrahlen eine physikalische Beeinträchtigung des Filmmaterials verhindern. Das Projektionsfenster sollte in den Abmessungen gegenüber dem vorgegebenen 24 x 36 mm-Filmformat geringfügig erweitert sein (z.B. 25 x 36 mm). Die abweichenden Größenverhältnisse zwischen dem Format des Filmmaterials und dem Projektionsfenster geben bei der Projektion des Negativs auf dem Meßtabellett einen Lichtrahmen vor. Innerhalb des vorgegebenen Lichtrahmens muß das projizierte Bild bei der Bildanalyse angeordnet werden, damit die Bildecken eindeutig als solche zu identifizieren sind (vgl. 3.4.7).

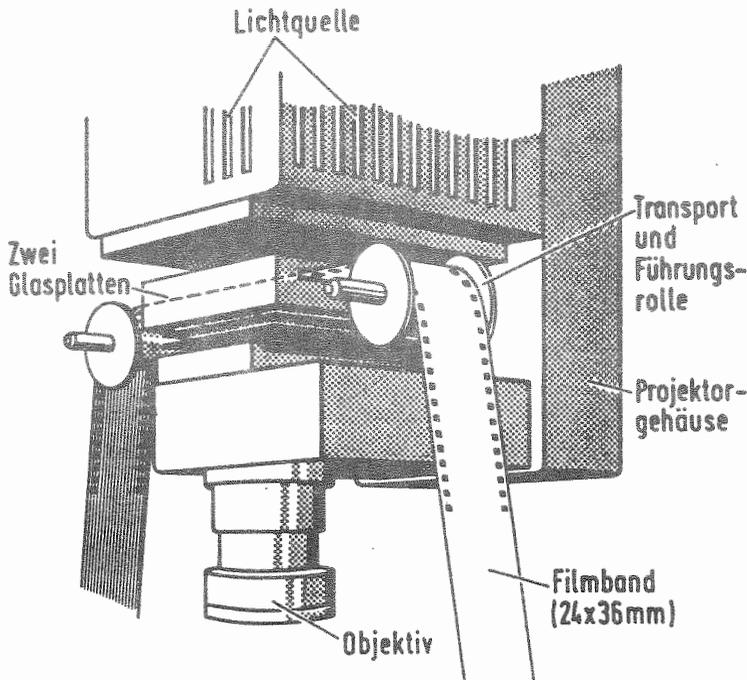


Abbildung 26: Filmführung zur Projektion von Filmbändern

Als Filmtransport- und Filmhalterungsvorrichtungen können auf dem Tragrahmen für beide Projektoren Spulen mit dem Filmmaterial links- und rechtsseitig der Projektionseinheit lose aufgesetzt werden. Das zu analysierende Filmmaterial, das sich zu Beginn der Bildauswertung jeweils auf der rechten bzw. linken Filmspule befindetet, durchläuft während der Bildanalyse die Filmführung und wird nach dem Digitalisiervorgang auf der linken bzw. rechten Filmspule aufgerollt. Die beiden Filmspulenhalterungen unterstützen die Filmführungseinrichtungen bei der Herstellung einer ebenen und korrekten Filmlage und erleichtern zugleich die Handhabung des Filmmaterials bei der Digitalisierung. Der Filmtransport und die endgültige Einpassung des projizierten Bildes auf den Lichtrahmen kann

durch manuelle Betätigung der Filmspulen vorgenommen werden. Es gibt aber auch automatische Filmtransporteinrichtungen, die durch Ausstattung mit Schrittmotoren den Filmtransport standardisieren, so daß mit jedem Transportvorgang das projizierte Bild ohne größere Nachjustierungsarbeiten im Lichtrahmen fixiert ist (vgl. 7.3).

Das vorgestellte System kann durch die massive Konstruktion eine vollkommene Konstanz der zu Beginn einer Auswerteperiode eingerichteten Projektionssysteme garantieren.

3.4.3 Einrichtung der Projektionseinheiten und Anordnung der Einzelelemente

Die Justierung der beiden Einzelprojektionssysteme auf dem Tragrahmen des Grundgestells erfolgt bei waagrechter Stellung des Meßtabletts und minimal einstellbarer Arbeitshöhe. Der Justiervorgang ist von der Zielsetzung geprägt, die Bildpaare so auf der aktiven Meßfläche des Meßtabletts von 76 x 102 cm zu projizieren, daß

- beide Bilder den gleichen Vergrößerungsfaktor aufweisen,
- die optische Achse des Projektionsgerätes mit der Meßtabelletoberfläche einen rechten Winkel bildet und
- die Bilder parallel und im 3 bis 4 cm-Abstand zum Menüfeld zu liegen kommen (vgl. Abb. 31).

Da die Filmlage innerhalb der amateurhaften Filmführungsvorrichtung minimale Bewegungsspielräume aufweist, müssen an den Längsseiten des parallel projizierten Bildes beidseitig Toleranzbereiche von etwa 1 bis 2 cm vorgesehen werden.

Das Einstellen der vorgesehenen Projektionsgrößen erfolgt durch vertikale Verschiebung eines Projektors über dessen Rohrhalterung. Durch horizontale Verschiebung des gesamten Einzelbildprojektionssystems auf dem Tragrahmen kann das projizierte Bild in den unteren linken oder rechten Bereich des Meßtabletts projiziert werden. Analog diesem Vorgang wird die Justierung des zweiten Einzelbildprojektionssystems vorgenommen.

Durch Division der Abmessungen des projizierten Bildes durch die Abmessungen des verwendeten Negativfilmformats ergibt sich der individuell erzielte Vergrößerungsfaktor. Beispielsweise wird unter Zugrundelegung eines exakten Negativformats von 23,9 x 34,9 mm und einer vergrößerten Projektion von 34,3 x 48,6 cm auf dem Meßtablett ein Vergrößerungsfaktor von 14 erreicht. Die visuelle Ausrichtung des gesamten Projektionsystems ist ausreichend, da parallel zu jedem Bildanalysevorgang eine gesonderte Berechnung der jeweils aktuellen Maßstäbe beider Meßbilder vorgenommen wird, die bei der mathematischen Rekonstruktion als Grundlage benutzt wird (vgl.4.5). Ein Testlauf unmittelbar nach Beendigung der Justierphase gibt Aufschluß darüber, welcher Grad an Übereinstimmung zwischen beiden Einzelprojektionssystemen erreicht worden ist. Eine Nachjustierung des einen oder anderen Einzelprojektionssystems kann nahezu identische Projektionsverhältnisse herstellen.

Die Digitalisiergenauigkeit nimmt zu, wenn das Auftreten von Parallaxendifferenzen reduziert werden kann. Parallaxenfehler treten auf, wenn der mit dem Cursor angetippte Meßpunkt auf der Meßtablettoberfläche in einer kleinen Entfernung zur Projektionsoberfläche liegt. Der Ablesefehler wird minimiert, wenn die Ablesung möglichst senkrecht erfolgt (STUART u. KLAGES 1977 / 60/). Dieser Forderung kann Rechnung getragen werden, indem die gesamte Auswerteeinheit - entsprechend der Arbeitshaltung der Bedienungsperson - so variiert wird, daß beim Ablesen der Strahlengang der Augen senkrecht auf das Meßtablett trifft. Mit der Möglichkeit der Neigung des Auswertesystems können neben meßtechnischen Forderungen auch individuelle, ergonomische Gesichtspunkte während der zeitintensiven Auswertungsphasen berücksichtigt werden.

Die Interpretation und Digitalisiertätigkeit wird erleichtert, wenn die projizierten Bilder kontrastreich und mit maximaler Schärfe einer Analyse unterzogen werden können; dazu ist die vollständige Verdunklung des Auswerteraumes erforderlich.

Die räumliche Plazierung der einzelnen Elemente des gesamten Bildanalyse-Systems kann prinzipiell beliebig vorgenommen werden. Da jedoch das Meßtablett der zentrale Arbeitsplatz ist, sollte die Verteilung der Arbeitselemente so vorgenommen werden, daß die erforderlichen Tätigkeiten an der Tastatur des Sichtgerätes ohne nennenswerte Ortsveränderungen der Auswerteperson ausgeführt werden können. Zu diesem Zweck hat sich die halbkreisförmige Anordnung bewährt, die der Auswerteperson zusätzlich ungehinderten Kontakt zum Sichtgerät und zum Meßwertdisplay des Digitalisierbasisgerätes gestattet (Abb. 27).

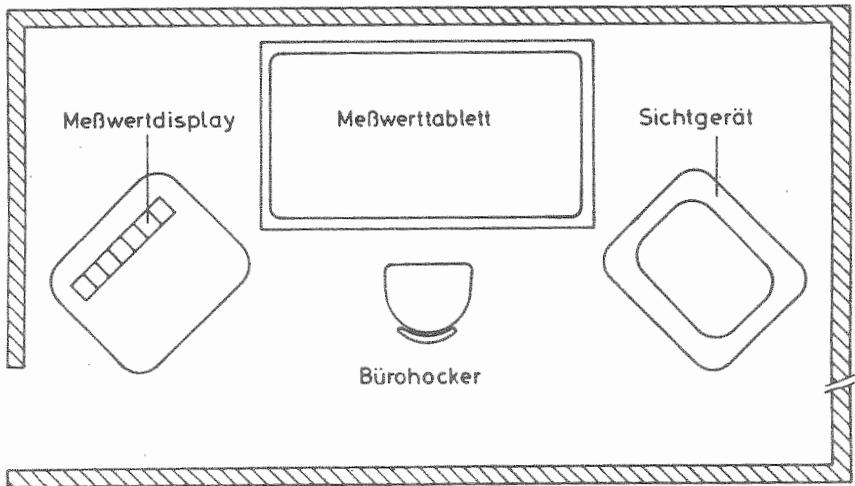


Abbildung 27: Plazierung des gesamten Bildanalyse-Systems

3.4.4 Allgemeine Beschreibung des Programmkonzeptes STERDI

Das Programmpaket STERDI ermöglicht die Stereoauswertung digitalisierter Bildpaare; dabei ist es gleichgültig, ob es sich um Meßbilder oder Nicht-Meßbilder handelt. Als Grundlage des interaktiven Programmkonzeptes dient die allgemeine Programmversion IMOR (STEPHANI 1980 /81/). Die oberste Zielsetzung dieses Rechenkonzeptes besteht in der Rekonstruktion von

Objektpunkten aus Bildkoordinaten auf der Basis einer Bündel-
lösung: ein Bündel von Lichtstrahlen bewirkt die Abbildung
des Objektes auf die Filmebene. Jeder Objektpunkt ist eindeu-
tig mathematisch festgelegt durch eine Gerade, die vom Objekt-
punkt ausgeht, das Objektiv der Kammer durchläuft und auf die
Bildebene trifft. Werden die in einem zweckmäßig angelegten
Koordinatensystem zum gleichen Objektpunkt gehörenden Koordi-
naten im linken und rechten Bild gemessen, so können, nach der
Orientierung der Bilder im Raum, homologe Strahlen zum Schnitt
gebracht und die räumlichen Koordinaten der Objektpunkte be-
rechnet werden. Das der Bündelmethode zugrundeliegende mathe-
matische Modell entspricht der Zentralperspektive (FINSTER-
WALDER u.HOFMANN 1968 /18/). Da im allgemeinen nicht nur eine
gewisse Anzahl von Objektkoordinaten verrechnet werden sollen,
sondern in der Regel auch die Aufnahmeorte und Orientierungen
der Bilder (Drehwinkel) unbekannt sind, werden Paßpunkte benö-
tigt (vgl. 3.1.5). Da bei der Bildanalyse meist mit mehr Paß-
punkten gearbeitet wird als zur Lösung der Fragestellungen nö-
tig sind, stellt sich die Aufgabe der "vermittelnden Einpas-
sung" einer Mehrzahl von Paßpunkten. Diese Einpassung erfolgt
durch "kleinste Quadrateausgleichung", bei der die Widersprü-
che an den Paßpunkten und an den Bildkoordinaten minimiert wer-
den.

Die Berücksichtigung von bekannten oder unbekanntem systemati-
schen Fehlern der gemessenen Bildkoordinaten (Verzeichnungsfeh-
ler des Objektivs, Fehler in der Lage des Bildhauptpunktes,
Affinitäten der Koordinatenrichtungen) erfolgt durch
Einführung geeigneter "zusätzlicher Parameter" in das mathe-
matische Modell der Zentralperspektive. Diese Ausgleichung
ist ökonomisch, da keine zusätzliche Meßarbeit erforderlich
ist. Gleichzeitig werden damit optimale Ergebnisse bei kri-
tischem Einsatz der Art und der Zahl der zusätzlichen Parame-
ter garantiert.

Im allgemeinen werden durch Bündelausgleichung der gemessenen
Bildkoordinaten eine bestimmte Zahl unbekannter Objektkoordi-
naten, die Aufnahmeorte, die Orientierung der Bilder im Raum

und evtl. "zusätzliche Parameter" bestimmt. Bei bestimmten Anwendungen der Bildmessung kann man jedoch schon vor der Ausgleichung (vgl. 3.4.6) Aussagen über den Betrag von Unbekannten und deren Genauigkeit (z.B. Koordinaten des Aufnahmeortes, Kammerdrehungen, Koordinaten des Bildhauptpunktes) machen. Diese Beobachtungen fallen entweder bei der geodätischen Messung an oder bei einer vorausgegangenen Kalibrierung der beiden Aufnahmekammern. Die Verarbeitung dieser zusätzlichen Informationen erfolgt durch Einführung von zusätzlichen Beobachtungsgleichungen, denen ein entsprechendes Gewicht zugeordnet wird.

Ausgehend von der allgemeinen Programmversion IMOR, die als Batch-Version der Bündellösung für die Vermessung von Stereobildpaaren konzipiert ist, wurde die Programmversion STERDI auf einen Minicomputer von 64 k-Byte implementiert. Die Implementierungsphase war durch zwei Zielsetzungen geprägt:

- Einpassung der vorhandenen Programmteile bei dem begrenzt verfügbaren Speicherraum des Minicomputers von 56 k-Byte und einem Arbeitsspeicher von 8 k-Byte
- Erstellung einer interaktiven, dialogfähigen Programmversion in der Programmiersprache FORTRAN IV

Der ersten Zielsetzung wurde Rechnung getragen, indem das Auswerteprogramm in Overlay-Struktur erstellt wurde unter besonderer Berücksichtigung des "Dialogeinsatzes" und der "Dateneingabe per Digitalisierer". "Overlay-Struktur" bedeutet, daß neben einem Hauptprogramm mehrere Unterprogramme installiert sind, die je nach Bedarf aus dem Speicherraum abgerufen und nach Ende der Rechenprozedur wieder in den Speicher ausgelagert werden; damit erfolgt eine optimale Ausnutzung des begrenzt vorhandenen Speicherraumes. Dieser Umstellungsprozeß geht jedoch zu Lasten der benötigten Rechenzeit.

3.4.5 Programmaufbau STERDI

Nach Einbeziehung aller Faktoren, die für das "Handling" des Programmkonzeptes STERDI von Bedeutung sind, setzt sich das in Overlay-Struktur und auf 50 Bildpunkte begrenzte Programm

STERDI aus mehreren Programmsegmenten zusammen (Abb. 28).

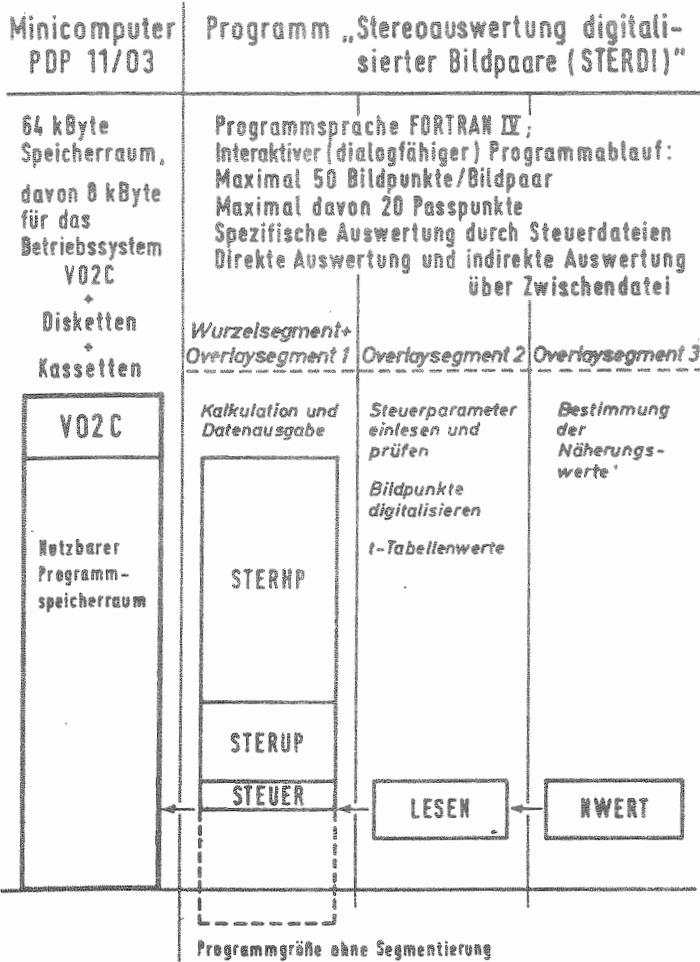


Abbildung 28: Programmsegmentierung und Overlay-Struktur für das Programm STERDI (nach AUERNHAMMER 1981 /4 /)

Das Programm gliedert sich, aufgrund mehrerer Prämissen und Einschränkungen hinsichtlich der Zielsetzungen, in drei Programmblöcke:

- das Wurzelsegment (STERHP + STERUP) + Overlay-Segment I (STEUER)
- Overlay-Segment II (LESEN)
- Overlay-Segment III (NWERT)

Die Hauptfunktion fällt dem Wurzelsegment in Verbindung mit dem Overlay-Segment I zu. STERHP umfaßt das Hauptprogramm MAIN sowie acht Unterprogramme, STERUP setzt sich zusammen aus 13 Unterprogrammen (vgl. Tab. 10). Die Programmblöcke STERHP und STERUP steuern die mathematische Analyse und die Datenausgabe, wenn die digitalisierten bzw. ausgeglichenen Daten eines Bildpaares als Input bereitgestellt sind. Diese Programmteile verbleiben deshalb fortlaufend im Programmspeicher. Die in den drei Wurzelsegmenten angeordneten Programmblöcke STEUER, LESEN, NWERT sind zunächst ausgelagert und werden nur dann in den Überlagerungsfähigen Kernspeicher transferiert, wenn diese in der Phase der Datenbereitstellung benötigt werden. Dem Unterprogramm STEUER mit nur einmaliger Verwendung in einem Programmlauf fällt die Aufgabe zu, die Steuerparameter einzulesen und zu prüfen. Ebenso nur einmalig benötigt werden beim Digitalisieren eines Bildpaares die Unterprogramme LESEN und NWERT.

Das Programm LESEN hat die Aufgabe, die digitalisierten Bildpunktkoordinaten (Paßpunkte und Bildpunkte) einzulesen und bereitzustellen. Parallel dazu erfolgt das Einlesen der t-Tabellenwerte, die zur Bestimmung der Vertrauensbereiche der rekonstruierten Objektpunktkoordinaten benötigt werden. Die Vertrauensbereiche können als Kontrollparameter zur Bestimmung des realisierten Genauigkeitsniveaus bei der Bildanalyse herangezogen werden, da sie mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von beispielsweise $p = 95$ v.H. die Abweichungen des digitalisierten Wertes vom tatsächlichen Wert nach oben oder unten schätzen (SACHS 1974 /46/).

NWERT führt beim Prozeß der relativen und absoluten Orientierung (dreidimensionale Transformation oder räumlicher Vorwärtsschnitt) die Bestimmung der Näherungswerte durch (vgl. 3.4.6).

Die gestrichelten Linien im linken Kästchen der Softwarekomponente (Abb. 28-) deuten an, daß die vorliegende Programmversion ohne Aufteilung in Segmente und die Umstellung auf ein Overlay-System aus Kapazitätsgründen nicht hätte verwirklicht werden können (Tab. 10).

Tabelle 10: Kenngrößen für das Programm "Stereoauswertung digitalisierter Bildpaare STERDI (nach AUERNHAMMER 1981 /4/)

Programmblock und Blockname		Programmteil		Kernspeicherbedarf (Bytes)	
		Nr.	Name		
Wurzelsegment	Hauptprogramm + math. Unterprogramme " STERHP "	1	MAIN	30 114	
		2	MAMUV	134	
		3	MAMUT	180	
		4	MAMU	180	
		5	MAAD	148	
		6	SETØ	88	
		7	LINV	908	
		8	DET	130	
				<u>1 768</u>	
		Unterprogramme mit COMMON-Bearbeitung " STERUP "	9	POND	782
			10	DMA	1 178
			11	KOPLA	428
			12	VGL	2 406
			13	RSVGL	326
			14	RESEI	174
			15	ZPA	834
			16	NAPA	340
			17	EXA	538
			18	NABI	900
			19	NAREG	1 084
			20	NAZPR	272
		21	ELIM	<u>1 324</u>	
				10 486	
Overlay-Sektor	Steuerparameteränderung " STEUER "	22	STEUER	2 738	
	Einlesen der Passpunkte und der Näherungswerte " LESEN "	23	LESEN	4 068	
		24	HELMT	2 180	
		25	TINTER	1 114	
			<u>7 372</u>		
	Näherungswertanalyse " NWERT "	26	NWERT	7 388	
Wurzelsegment + max. Overlay-Sektor		Gesamtgröße ohne Overlay-Sektor			
49 756 Bytes				59 866 Bytes	

Mit der gewählten Programmstruktur benötigt das Programm einen Speicherraum von 49 756 Bytes. Um das Auswerteprogramm möglichst vielfältig und praktisch anwenden zu können, werden die für den Programmablauf essentiellen, sich mit

jeder Bildanalyse wiederholenden Parameter und Steuergrößen als separate Dateien gespeichert. Diese Informationen werden bei Bedarf intern abgerufen, so daß damit die manuelle Dateneingabe entfällt. Dieses Vorgehen wirkt sich äußerst vorteilhaft aus, da evtl. sich verändernde Faktoren oder Zahlenwerte einfach variiert werden können, ohne das Programmkonzept umstellen zu müssen. Dieser Aspekt hat zur Einführung von insgesamt drei Hilfsdateien geführt:

- Paßpunktdatei
- Näherungswertdatei
- Steuerdatei STEUER und LES.

3.4.5.1 Paßpunktdatei

Zur Orientierung der Meßbilder muß sowohl die Lage der Paßpunkte am Objekt als auch die Lage der Paßpunkte in den resultierenden Bildpaaren als bekannt vorausgesetzt werden (Tab. 11).

Aus dem geodätischen Vermessungsprozeß (vgl. 3.2) resultieren - nach der Aufbereitung der am Versuchsort gemessenen Daten - für jeden Paßpunkt $x;y;z$ -Koordinaten. Diese beziehen sich auf ein übergeordnetes $x;y;z$ -Koordinatensystem, das auch als Grundlage der Objektkoordinatenbestimmung bei der Bildanalyse Verwendung finden kann. Aus programmtechnischen Gründen werden die Paßpunkte chronologisch mit Nummern versehen, die größer sind als 100 (101, 102 usw.). Mit dem Symbol -99 wird dem Rechner das Ende einer Eingabedatei signalisiert.

Die photogrammetrische Ermittlung der Bildkoordinaten $x;y$ bzw. $x';y'$ für die Paßpunkte mit dem Stereokomparator gewährleistet eine erste Orientierung von ausgewählten Bildpaaren ohne den Umweg über das Projektionssystem und das Meßtablett. Zugleich kann, durch die Auswahl von entsprechenden Bildpaaren, die Konstanz der Orientierungselemente über einen längeren Zeitraum überprüft werden.

Tabelle 11: Aufbau einer Paßpunktdatei (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)

Paßpunkt- nummern	X	Y	Z
	(m)	(m)	(m)
101	3,760	0,131	1,395
102	5,603	0,001	1,660
103	6,353	0,011	1,407
104	7,003	11,505	1,830
105	6,956	3,433	3,815
107	7,013	7,840	1,616
108	6,992	7,841	3,740
109	5,065	12,344	1,064
110	7,011	16,621	1,626
111	7,009	16,614	3,765
112	10,778	19,559	1,229
113	6,248	27,187	3,626
114	3,064	27,183	1,763
115	- 3,769	27,197	4,104
116	- 5,728	19,619	2,018
117	- 4,256	15,343	3,828
118	- 4,336	15,355	1,864
119	0,001	7,943	1,658

geodätisch am
Versuchsort ermittelt;

Bezugspunkt:
Nullpunkt des Koordina-
tensystems
(vgl. Abb. 18)

Paßp.- Nummern	linkes Bild		rechtes Bild	
	x	y	x'	y'
101	- 8.429	-9.780	-13.306	-9.257
102	9.716	-8.690	- 1.954	-8.803
103	14.044	-9.967	2.690	-9.998
104	10.346	- .237	3.868	- .185
105	10.909	7.087	3.836	7.153
107	6.735	2.411	2.383	2.513
108	6.835	7.273	2.315	7.392
109	1.811	3.000	- 1.404	3.091
110	3.998	4.817	1.307	4.954
111	4.046	7.628	1.254	7.773
112	2.154	7.621	- .124	7.775
114	- .498	5.939	- 2.482	6.061
115	- 6.318	7.787	- 8.388	7.879
116	-10.346	5.273	-12.850	5.303
117	-11.177	7.219	-14.227	7.265
118	-10.830	4.514	-13.766	4.525
119	- 8.600	2.186	-12.823	2.141
-99				

photogrammetrisch mit
dem Stereokomparator
in der Bildvorlage
bestimmt;

Bezugspunkt:
Bildhauptpunkte
der Einzelbilder

3.4.5.2 Näherungswertdatei

Die Kenngrößen der Näherungswertdatei beschreiben die bei der Erstellung der Bildpaare anzutreffende geometrische Aufnahmesituation (Koordinaten der Aufnahmeorte, Drehungen der Nicht-Meßkammern, Näherungswerte x , y , z für die Objektkoordinaten usw.). Die Näherungswertdatei enthält somit die für die Linearisierung notwendigen Werte aller Systemunbekannten (Tab.12).

Tabelle 12: Struktur einer Näherungswertdatei (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)

Lfd.Nr.	Näherungswerte für die Unbekannten			allgem.Bemerkg.
	Symbol	Beschreibung	Beispiel	
1	X_0	linke Kammer	4.290 m	Koordination der Aufnahme- orte
2	ΔX_0	rechte "	1.6930 m	
3	Y_0	linke "	-3.1280 m	
4	ΔY_0	rechte "	0.0120 m	
5	Z_0	linke "	4.0860 m	
6	ΔZ_0	rechte "	0.0060 m	
7	ρ_0	linke Kammer	-0.0300°	Drehungen der Aufnahmeorte
8	$\Delta \rho_0$	rechte "	0.0427°	
9	ω_0	linke "	1.2615°	
10	$\Delta \omega_0$	rechte "	0.0322°	
11	κ_0	linke "	-0.0150°	
12	$\Delta \kappa_0$	rechte "	0.0222°	
13	f	Verbesserung Brennwerte li.K.	0.0000	Möglichkeiten zur Systemeich- nung
14	Δf	" re.K.	0.0000	
15	X	Hauptpunkt li.K.	0.0000	
16	ΔX	" re.K.	0.0000	
17	y	" li.K.	0.0000	
18	ΔY	" re.K.	0.0000	

Als Basis der einzelnen Koordinatenwerte bzw. Winkelangaben fungieren jeweils die Werte des linken Aufnahmeortes. Die Meßwerte des rechten Aufnahmeortes sind als Differenzwerte zum linken Aufnahmeort angegeben. Sind die Koordinaten des Aufnahmeortes und die Drehwerte geodätisch bestimmt worden, so

können diese Werte sofort als "Näherungswerte" aufgefaßt werden. Durch entsprechende Gewichtung dieser Beobachtungen können die Aufnahmeorte und die Bild Drehungen im Rahmen des Ausgleichungsprozesses mehr oder weniger angehalten werden. Die Kontrolle der Näherungswerte erfolgt durch die Ermittlung der ausgeglichenen, bildpaarspezifischen Unbekannten (Werte 1-12) und zuzüglicher Beobachtungen für die Werte 13 - 18. Diese eröffnen die Möglichkeit, die verwendeten Kammer Systeme zu korrigieren, wenn die vom Hersteller angegebenen Werte nicht mit den tatsächlichen Verhältnissen übereinstimmen; Klarheit kann mittels einer Kammerkalibrierung gewonnen werden (vgl. 3.1.1).

3.4.5.3 Steuerdateien STEUER und LES

Die in den Steuerdateien verankerten Parameter sind in kodierter Form angelegt, so daß den Anforderungen jeder speziellen Versuchsanordnung in Bezug auf die Aufnahme- und Analysetechnik Rechnung getragen werden kann, ohne im Einzelfall arbeitsaufwendige Veränderungen im Programm selbst vornehmen zu müssen. Für eine gegebene Versuchsanordnung ist der überwiegende Teil dieser Steuerparameter im voraus festlegbar und damit für die einzelnen Programmabläufe unveränderlich (Tab. 13).

Tabelle 13: Steuerparameter für STERDI (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)

Steuerdatei STEUER

Steuerparameter	aktueller Wert im Programm	Erläuterung
ICR	2	ICR = 1 gleiche Kammer auf dem linken und rechten Aufnahmeort ICR = 2 zwei physikalisch verschiedene Kammern am linken bzw. rechten Aufnahmeort
CCR (1) CCR (2)	0,24000 10^{-1} m 0,24000 10^{-1} m	Kammerkonstanten (Brennweiten) der linken und rechten Kammer
SIGØ	0,20000 10^{-3} m	geschätzte Standardabweichungen der Ausgleichung a priori, $SIGØ^2 = \text{Varianzfaktor}$
RIZP	3,000	3 zusätzliche Parameter je Kammer werden zugelassen
RIZPR	0,000	keine beobachteten zusätzlichen Parameter je Kammer
SXØ SYØ SZØ	20,000 10^{-3} m 20,000 10^{-3} m 20,000 10^{-3} m	Standardabweichungen (Genauigkeiten) der Koordinaten der Aufnahmeorte (Dimensionen (m))
SA SB SC	5,000 gon 5,000 gon	Standardabweichungen (Genauigkeiten) der Bildorientierungen (Aufnahmewinkel); (Dimensionen (gon))
SBIKØ	0,2000 10^{-3} m	Standardabweichungen (Genauigkeiten) der digitalisierten Bildkoordinaten a priori
SL	0,10000 10^{-3} m	Standardabweich. (Genauigkeiten) der Grundriß(Lage)-Koordinaten der Paßpunkte. (Dimensionen (m))
SH	0,10000 10^{-3} m	Standardabweich. der Höhe-Koordinaten (Z) der Paßpunkte. (Dimensionen (m))
SZP	0,10000 10^{-12} m	Standardabweich. (Genauigkeiten) der beobachteten zusätzlichen Parameter (m)
XØK YØK ZØK*	-0,5	Korrelationskoeffizienten für die beobacht. Unbekannten XØ YØ ZØ
AK BK CK*	-0,5	Korrelationskoeffizienten für die Unbekannten $\begin{matrix} A \\ \emptyset \\ W \\ K \end{matrix}$

* Als tatsächliche Unbekannte der Ausgleichung werden statt XOL XOR Kl KR eingeführt, XO A XO = XOR - XOL ...
K K = KR - Kl. Das bedeutet, daß bei Korrelationskoeffizienten XOK = -0,5 ... CK = -0,5 die ursprünglichen Unbekannten XOL XOR ... KL KR als gleichgenau betrachtet werden.

Fortsetzung

Tabelle 13: Steuerparameter für STERDI (Zahlenwerte aus der ersten Versuchsanstellung)

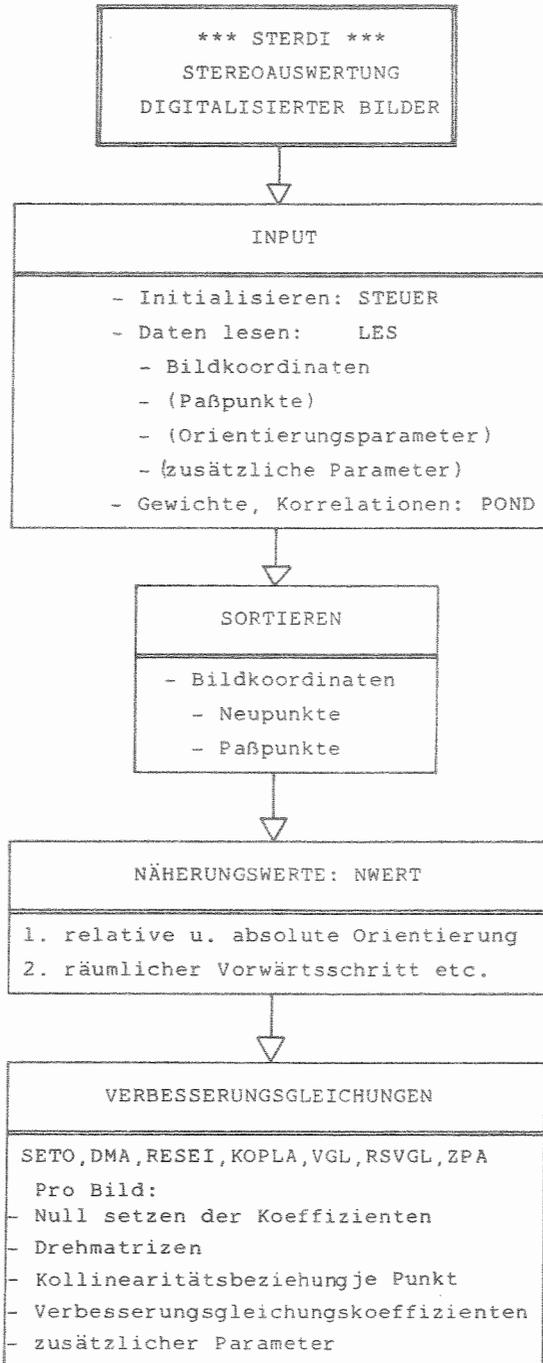
Steuerdatei: LES

Steuerparameter	aktueller Wert im Programm	Erläuterung
IBIKO	max. 50	Anzahl der digitalisierten Bildpunkte
IGEKO	max. 18	Anzahl der Paßpunkte
IR = 0		keine Beobachtungen für die Aufnahmeorte u. Orientierungen der Bilder
IR ≠ 0		Es wurden sowohl Aufnahmeorte, als auch Bildorientierungen beobachtet
wenn IR ≠ 0: XOR (1) YOR (1) ZOR (1) AR (1) BR (1) CP (1)		beobachtete Koordinaten des linken Aufnahmeortes
XOR (2) YKR (2) ZOR(2) AR (2) BR (2) CP (2)		beobachtete Orientierungen des linken Bildes (ø w k)
		obige Parameter f. d. rechte Bild
IZPR = 0		Es gibt keine Beobachtungen für die zusätzlichen Parameter
1ZPR ≠ 0		Für die zusätzlichen Parameter liegen Beobachtungen vor
2PR (K) K = 1... 1ZP		Beobachtungen für die 1ZP zusätzlichen Parameter

3.4.6 Ablaufschema für das Programmpaket STERDI

Dem Ablaufschema STERDI zur Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare liegen das mathematische Modell der Zentralperspektive (STEPHANI 1981 /59/) sowie der in 3.4.5 vorgestellte Programmaufbau zugrunde (Abb. 29).

Die bei der Bildanalyse auftretenden Einzelschritte sind in chronologischer Reihenfolge dargestellt. Die kursivgeschriebenen Teile sind Namen von Unterprogrammen, die in dem betreffenden Abschnitt abgerufen werden; die Bedeutung der einzelnen Unterprogramme soll jedoch nicht näher erläutert werden. Mit dem "Aufrufen" von STERDI erfolgt das Initialisieren, d.h. es werden die in der Routine STEUER programmierten Randbedingungen der Aufnahmesituationen (Art der Meßkammern, Brennweiten, Zahl der



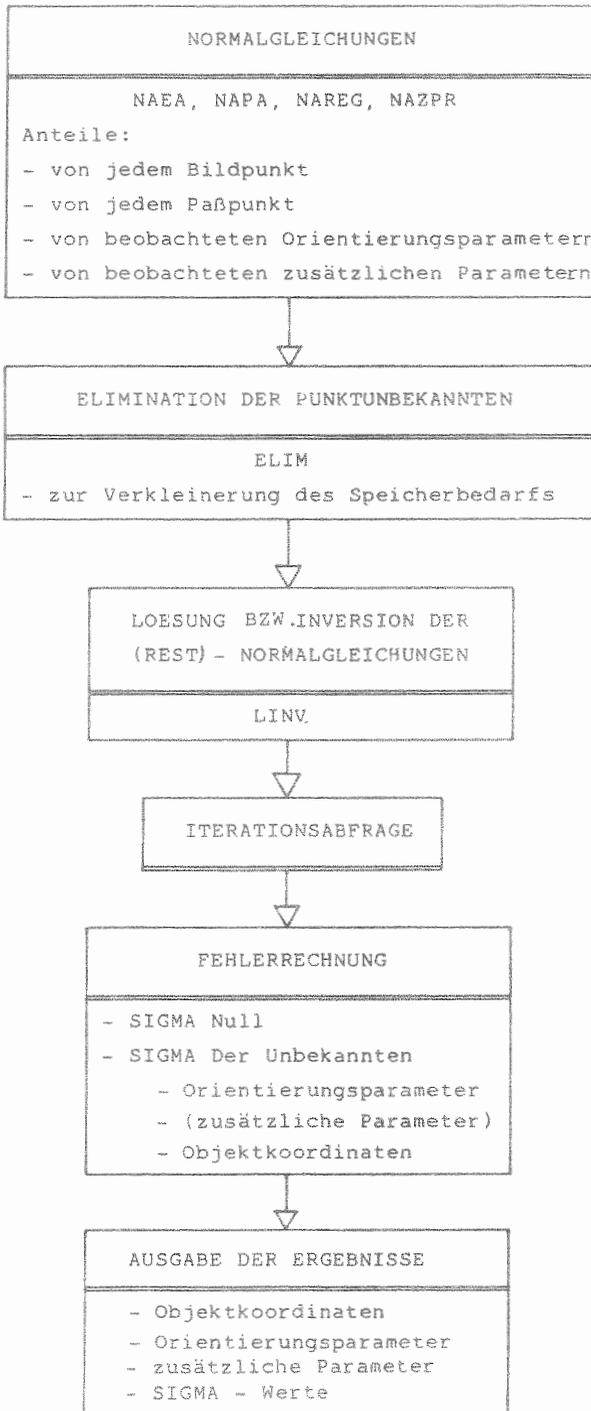


Abbildung 29: Ablaufschema für das Programm "STERDI"
(nach STEPHANY 1981 /58/)

zusätzlichen Parameter etc.) bestätigt oder durch veränderte Zahlenwerte ersetzt (vgl. 3.4.5.3). Diese fungieren als Grundlage des nachfolgenden, bildpaarspezifischen Rechenprozesses. Den in der Routine (Steueranweisung) LES verankerten Steuerparametern fallen folgende Aufgaben zu:

- Bereitstellung von Bild- und Paßpunktkoordinaten im Rahmen des Digitalisiervorganges.
- Einlesen der Orientierungsparameter und der zusätzlichen Parameter, falls diese als Beobachtungen vorliegen.

Die Bereitstellung der zu messenden Bildkoordinaten erfolgt - aus Genauigkeitsgründen und aufgrund der vereinfachten Identifizierung der Meßobjekte - während des Digitalisiervorganges in der vergrößerten Projektion der Bildvorlage. Danach werden die Bildkoordinaten sortiert nach den Kriterien "Neupunkt und Paßpunkt". Anschließend werden die Näherungswerte der Unbekannten bestimmt durch:

- 1) relative und absolute Orientierung oder
- 2) räumlichen Vorwärtsschnitt oder
- 3) 3-dimensionale Drehung

Die eigentliche Ausgleichung erfolgt nach der Methode der "kleinsten Quadrate", wobei eine verallgemeinerte, im Ansatz nichtlineare Bündellösung programmtechnisch realisiert wird. Die Strahlenbündel des linken und rechten Aufnahmesystems werden zum Schnitt gebracht; dieser Vorgang geschieht iterativ. Ausgehend von den Verbesserungsgleichungen werden Normalgleichungen aufgestellt. Nach der Elimination der Unbekannten werden die Lösung und die Inversion der Restnormalgleichungen vorgenommen. Die Iterationsgrenze ist dann erreicht, wenn sich die Strahlenbündel innerhalb eines vorgegebenen Bereiches schneiden. Der Iterationsvorgang wird dann abgebrochen, wenn der Koordinatenunterschied bei der Bestimmung eines Objektpunktes zwischen zwei aufeinanderfolgenden Iterationen unter dem eingegebenen Grenzwert liegt, z.B. 1 cm. Die Verbesserungsgleichungen werden nach dem in Abb. 30 dargestellten Schema ermittelt.

Fällt die Iterationsabfrage negativ aus, so wird die Fehlerrechnung eingeleitet, die sich auf die Ausgabe folgender Parameter bezieht:

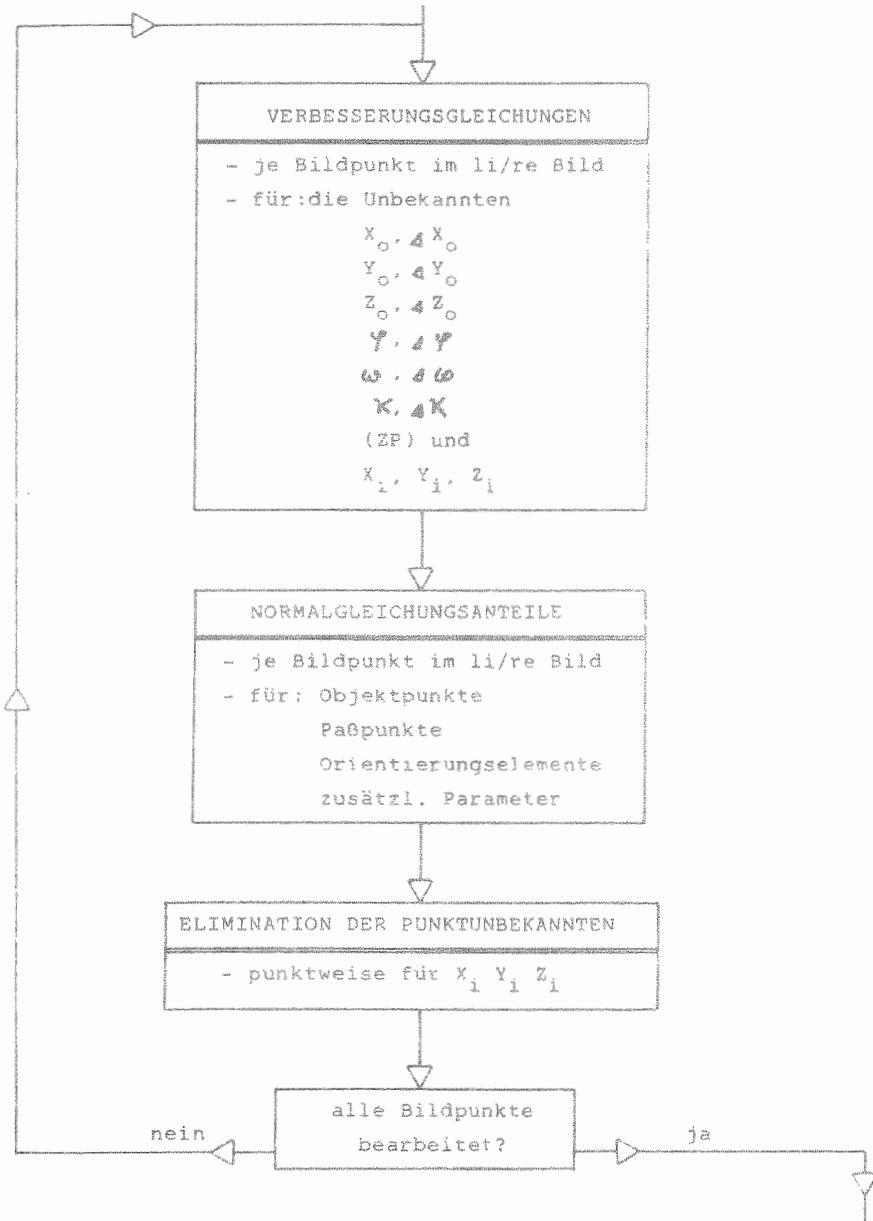


Abbildung 30: Schema zur Aufstellung der Verbesserungsgleichungen bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare

- Sigma-O-Wert (Standardabweichung, Gewicht = 1)
- Sigma der Unbekannten
 - Sigma der inneren und äußeren Orientierungsparameter
 - Sigma der zusätzlichen Parameter (falls vorhanden)
 - Sigma der Objektkoordinaten (zu bestimmende x;y;z-Raumkoordinaten)

Der Sigma-O-Wert präsentiert die aus allen Bestimmungen (Paßpunkte und Objektpunkte) resultierende Genauigkeit eines Bildpaares (Gewicht 1). Damit berücksichtigt dieser Wert alle Fehleranteile des gesamten Systems, die sowohl bei der Bilderstellung als auch bei der Bildanalyse auftreten.

Der Sigma-Wert der Unbekannten beschreibt die bei der Berechnung realisierte Genauigkeit (vgl. 4.6).

Die Ergebnisausgabe wird beeinflusst von den globalen Zielstellungen, die mit dem Rechenprozeß angestrebt worden sind, so daß eine Unterscheidung vorzunehmen ist nach programm- und fachspezifischen Parametern. Die programmtechnischen Größen sind die rekonstruierten Koordinatenwerte für die Aufnahmeorte und die Bild Drehungen, die bei der Bilderstellung vorlagen, und die Sigma-Werte (Genauigkeiten für die Koordinaten der Aufnahmeorte, Drehungen der Aufnahmeorte und zusätzliche Parameter).

Als fachspezifische Größen können die exakten x;y;z-Lagekoordinaten der Objekt- und Paßpunkte bezeichnet werden. Als weitere Kenngrößen können die Uhrzeit der Bilderstellung, der Name der Auswerteperson (vgl. 4.6) usw. angegeben werden.

3.4.7 Besonderheiten der interaktiven Programmversion STERDI

Im Hinblick auf die Anwendung des Programmkonzeptes zur Analyse von bildintensiven Versuchsanstellungen besteht die Forderung, einige vereinfachende Schritte in das Programmkonzept zu integrieren:

- Auswertung von Bildpaaren, die bei der Projektion nicht immer an gleicher Stelle des Meßtablets projiziert werden.
- Trennung von Digitalisiervorgang und mathematischer Analyse

- Anzeigen der jeweiligen Auswertesituation auf dem Sichtgerät.
- Korrekturmöglichkeiten in der Phase der Dateneingabe.
- Eingabe begleitender, regelmäßig sich wiederholender Parameter über ein Menüfeld.
- Beschränkung der Ergebnisausgabe auf wesentliche Parameter.

Während der routinemäßigen Bildauswertung werden die zeitlich nacheinander auf das Meßtablett projizierten Bildpaare nicht immer exakt an der gleichen Stelle des Tablettts angeordnet werden können. Mit der in 3.4.2 vorgestellten Projektionsvorrichtung kann die Bedienungsperson die Position der projizierten Bildpaare auf dem Meßtablett innerhalb eines sehr engen Toleranzbereiches von wenigen Millimetern garantieren. Der verbleibende Verschiebungsbetrag der Bilder auf dem Meßtablett wirkt sich auf das Ergebnis nicht aus, da die gemessenen Bildkoordinaten noch einer HELMERT-Transformation unterworfen werden. Aus dieser resultieren die Maßstabfaktoren und die Standardabweichungen der Transformation als Kontrollgrößen. Die Maßstabfaktoren geben Auskunft darüber, inwieweit die Abmessungen der projizierten Bilder vom Originalnegativformat abweichen. Die Standardabweichung der Transformation erlaubt eine Aussage über die realisierte Genauigkeit.

Mit der Einführung sogenannter "Aktionscodes" ist der echte Digitalisiervorgang vom eigentlichen Rechenprozess zeitlich zu trennen. Dadurch ist es möglich, die zur Verfügung stehende Auswertezeit am Bildanalysesystem optimal durch die Tätigkeit des Digitalisierens auszunutzen. Entsprechend der Kapazitätsauslastung der Hardware können folgende Alternativen gewählt werden:

- Aktionscode 0 = Digitalisieren und Analysieren
- Aktionscode 1 = Nur digitalisieren (Nachtlaufl)
- Aktionscode 2 = Digitalisierte Daten analysieren
- Aktionscode 3 = Programmstopp

Der Aktionscode 0 schließt die Digitalisierung in den mathematischen Analyseprozeß ein, so daß nach der Bildanalyse eines oder auch mehrerer Bildpaare eine vollständig analysierte Ergebnisdatei vorliegt. Da die Rechenprozedur - in Abhängigkeit

von der Anzahl der pro Bildpaar digitalisierten Bildpunkte - den Minicomputer für eine gewisse Zeit blockiert, kann der Digitalisiervorgang erst dann fortgesetzt werden, wenn die Rechenoperation des vorhergehenden Bildpaares abgeschlossen ist. Die zeitgleiche Verrechnung von beispielsweise 50 Objekt- und Bildkoordinaten beansprucht unter der gegebenen Konstellation eine Auswertzeit von nahezu 50 Minuten.

Mit dem Aktionscode 1 werden die digitalisierten Bildkoordinaten gespeichert und in einer Zwischendatei abgelegt. Während inaktiver Zeiträume des Minicomputers, z.B. während der Nachtstunden oder an arbeitsfreien Tagen, kann mittels Aktionscode 2 die Verrechnung der in der Zwischendatei abgelegten, digitalisierten Objekt- und Bildkoordinaten vorgenommen werden. Nach dem Start des Programms verläuft der Analyseprozeß selbständig und unabhängig. Ist das letzte Bildpaar einer Zwischendatei errechnet, schließt der Minicomputer den Rechenprozeß automatisch ab und legt die Daten in einer Ergebnisdatei ab.

Mit dem Aktionscode 3 wird der Abschluß der Auswertetätigkeit signalisiert, was prinzipiell nach jedem Bildpaar vorgenommen werden kann.

Die Anzeige der jeweiligen Auswertesituation auf dem Sichtgerät ist gerade für nichtspezialisierte Bedienungspersonen von besonderer Bedeutung. Die Datenausgabe und die Anordnung auf dem Bildschirm des Sichtgerätes sind so programmiert, daß sowohl der aktuelle Stand der Auswertungsphase als auch die Aufforderung zur nächsten Tätigkeit angezeigt wird. Die systematische Anordnung des aktuellen Auswertestandes auf dem Bildschirm erfolgt in der Weise, daß die wichtigen vorausgegangenen Informationen noch auf dem Bildschirm abzulesen sind (vgl. 4.5).

Über die Flag-Tasten des Fadenkreuzcursors (vgl. Abb. 13) ist eine mögliche Fehlerkorrektur in das Programm integriert. Diese Korrekturmöglichkeit von offensichtlich falsch digitalisierten Punkten erspart a priori der mathematischen Analyse die zeitaufwendige Korrekturarbeit nach der Durchführung des

Rechenprozesses (vgl. 4.5). Folgende Korrekturmöglichkeiten sind programmiert:

- Löschung und erneute Eingabe des letzten digitalisierten Bildpaares
- Löschung und erneute Eingabe des letzten digitalisierten Koordinatenpunktes
- Löschung aller digitalisierten Daten des in Bearbeitung befindlichen Bildpaares

In der Beschränkung der Ergebnisausgabe auf die essentiellen Parameter ist eine Möglichkeit gegeben, den benötigten Speicherraum des Datenträgers zu reduzieren. Art und Anzahl der Parameter, die jeweils für ein Bildpaar in der Ergebnisdatei abgelegt werden, sind variabel und können auf die jeweiligen Ansprüche abgestimmt werden. Als zentrale Parameter sind die rekonstruierten x;y;z-Objektkoordinaten bei der Ergebnisausgabe einzustufen. Als Genauigkeitsparameter für die ermittelten Positionsangaben stehen Vertrauensbereiche als Kontrollgrößen zur Verfügung (vgl. 4.5).

Die schnelle Eingabe versuchsbegleitender, regelmäßig sich wiederholender Parameter kann durch die Reservierung eines bestimmten Bereiches des Meßtablettes berücksichtigt werden, innerhalb dessen die einzelnen Parameter systematisch aufgetragen sind. Dieser Bereich (Menuefeld) ist in der Funktion vergleichbar der Tastatur eines Sichtgerätes; während hier Informationen manuell eingetippt werden müssen, können dem Rechner Informationen schneller und fehlerfrei durch die Digitalisierung bestimmter definierter Punkte des Menuefeldes auf dem Meßtablett ebenso überspielt werden. Voraussetzung dafür ist jedoch die entsprechende Programmierung und Identifizierung der definierten Punkte des Menuefeldes, die im Programm selbst vorgenommen werden müssen (Abb. 31).

Die Zahl der Menueleisten eines Menuefeldes kann beliebig gewählt werden. Eine Leiste repräsentiert dabei ein bestimmtes Eingabemerkmale, wie die Uhrzeit, die Nummer des aktiven Versuchsobjektes oder einen bestimmten Aktivitätskode. Um eine möglichst große, aktive Digitalisierfläche beizubehalten,

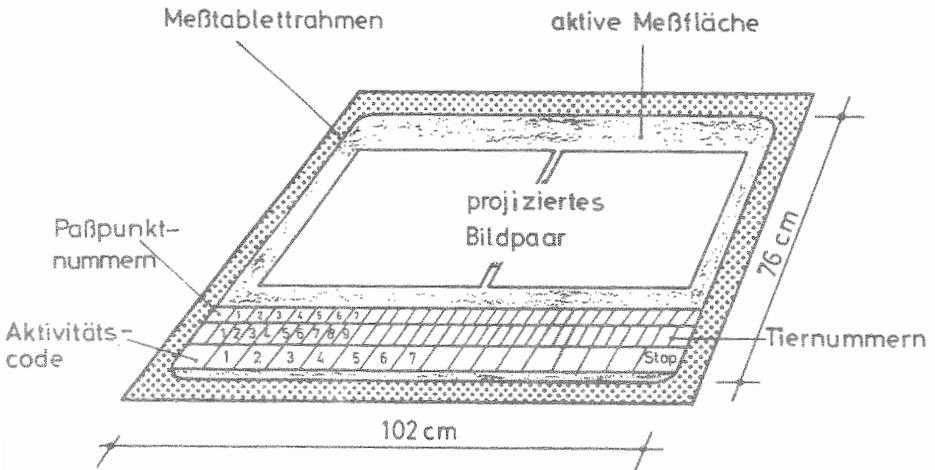


Abbildung 31: Aufbau und Anordnung eines Menüfeldes auf einem Meßblett

sollte das Menüfeld flächenmäßig nicht zu groß angelegt werden. Die Einrichtung eines Menüfeldes bedingt keine gravierenden gerätetechnischen Veränderungen des Meßtablets. Es kann in geschützter Form lose auf dem Meßblett aufgelegt werden, so daß es jederzeit entfernt werden kann, wenn die vom Menüfeld blockierte Fläche für andere Aufgabenstellungen benötigt wird.

4. ANWENDUNG DER STEREOANALYSE DIGITALISierterer BILDPAARE IM LIEGEBOXENLAUFSTALL

Der Anstoß zur Entwicklung der Methode ist aus der konkreten Situation entstanden, das Tierverhalten im Liegeboxenlaufstall zu erfassen und zu quantifizieren; dementsprechend beziehen sich die nachfolgenden Untersuchungen auf diesen Einsatzfall. Ausgehend von den fachlichen Zielsetzungen des Versuchsprojektes soll das Vorgehen analog den Stationen erfolgen, die bereits bei der allgemeinen Vorstellung zugrundegelegt worden sind:

- Beschreibung des speziellen Versuchsprojektes
- Anbringen des Paßpunktsystems und Einbau der Registrieranlage
- Durchführung der Bilderzeugung
- Praktischer Verlauf der Bildanalyse
- Ergebnisdarstellung

Während sich die Angaben für die Bilderstellung auf die gesamte achtundvierzigstündige Versuchsperiode beziehen, dient als Grundlage der Ergebnisinterpretation das Datenmaterial der ersten vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode.

4.1 Fachliche Zielsetzungen für Versuchsprojekte im Liegeboxenlaufstall

Eine wichtige Zielsetzung des Versuchsprojektes zur Registrierung und Quantifizierung des Verhaltens von Kühen im Liegeboxenlaufstall besteht in der Erarbeitung von Kennwerten und Funktionsmaßen für die optimale Anordnung und Gestaltung der einzelnen Funktionsbereiche; dazu gehören insbesondere die Anordnung der Liegeboxen, Gangbreiten und -länge, die Abmessungen und Ausmaße der Fütterungseinrichtungen sowie die Anordnung der Tränken und der Warteräume vor dem Melkstand. Bevor jedoch diese Fragen über tiergemäße Einrichtungen des Liegeboxenlaufstalles untersucht werden können, müssen einige wichtige Zusammenhänge des Tierverhaltens innerhalb der Tiere geklärt werden. Dazu gehört die Ermittlung von Wegstrecken einzelner Tiere nach den Kriterien Länge und Richtung, die in

Abhängigkeit von Leistung oder Rang zurückgelegt werden. In engem Zusammenhang mit dem Lokomotionsverhalten steht das Liege- und Freßverhalten. Während das Lokomotionsverhalten bisher nur vereinzelt Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen gewesen ist, ist das Liege- und Freßverhalten sehr häufig untersucht worden. Das Aufzeigen von Interaktionen zwischen verschiedenen Aktivitäten ist jedoch nicht möglich, da in der Regel bei diesen Untersuchungen nur eine Aktivität losgelöst von anderen betrachtet worden ist.

Um eine zusammenhängende und vollständige Betrachtung des Tierverhaltens vornehmen zu können, stehen verschiedene quantitative Kriterien bereit (Tab. 14).

Tabelle 14: Parameter zur Bestimmung des Verhaltens einer Milchkuhherde im Liegeboxenlaufstall

Aktivitätsmuster	Parameter
Liegen:	Gesamtliegezeit, Anzahl und Dauer der Liegevorgänge, Anzahl und Dauer der Unterbrechungen
Fressen:	Gesamtfreßzeit, Anzahl und Dauer der Freßvorgänge, Anzahl und Dauer der Unterbrechungen
Fortbewegung:	Gesamtlaufzeit, Anzahl und Dauer der Laufvorgänge, Anzahl und Dauer der Unterbrechungen, Gesamtwegstrecken, Wegstrecke pro Laufvorgang

Unabhängig von der Art der einzelnen Tätigkeitsmuster werden beispielsweise folgende Kriterien herangezogen, um das Verhaltensspektrum sowohl nach herdenspezifischen als auch nach tierindividuellen Gesichtspunkten zu quantifizieren:

- Gesamtdauer von Aktivitäten
- Anzahl und Zeitdauer einzelner Ereignisse
- Quantitative Betrachtungen von Ereignissen, die sich auf die Fortbewegung beziehen (z.B. Wegstrecken in Metern).

4.2 Spezielles Versuchsprojekt

Die bereits geschilderte Methode ist in der Praxis erstmals in einem neuerrichteten Liegeboxenlaufstall in der Nähe von Freising angewendet worden (Abb. 32).

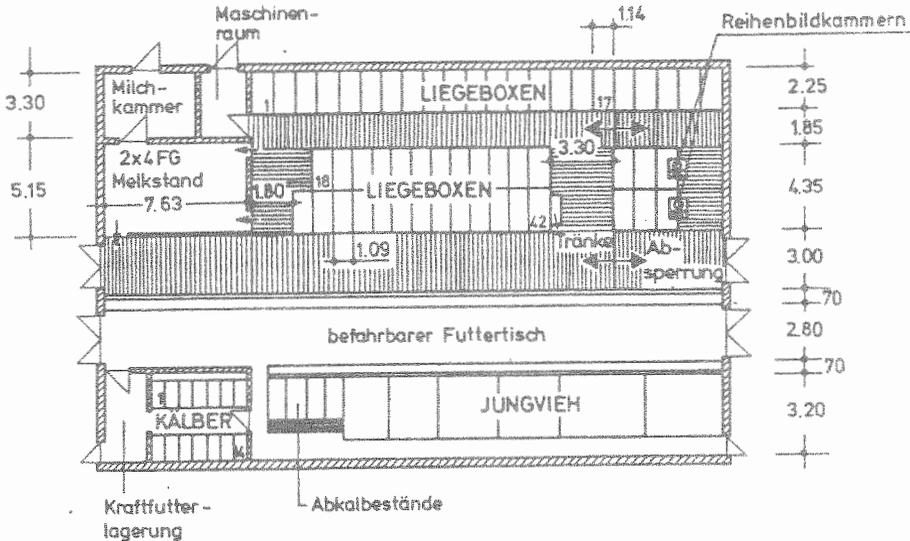


Abbildung 32: Grundriß des Versuchsstalles

Der Aufenthaltsbereich der Kühe war in zwei Bereiche untergliedert. Die Zone, die sich auf der linken Seite der Absperrung befand, diente als Aufenthaltsfläche der 39 laktierenden Versuchstiere. Auf der rechten Seite der Absperrung befanden sich die trockenstehenden Kühe. In diesem Bereich wurden auch die Reihenbildkammern angeordnet. Eine detaillierte Charakterisierung des Versuchsstalles nach funktionalen Gesichtspunkten sowie die Beschreibung der versuchsrelevanten Kriterien ist im Anhang wiedergegeben. Die vollständige Abbildung aller Tiere in beiden Meßbildern und die räumlichen Gegebenheiten zwangen zu einer geringfügigen Einengung der Stallfläche im unmittelbaren Bereich vor den Aufnahmeorten: Am Freßgitter waren

vier Freßplätze nicht zugänglich, auf der rechten Seite waren drei Liegeboxen der Wandboxenreihe abgesperrt. Den Versuchstieren erwachsen daraus keine Nachteile, da jedes Versuchstier während der Aufnahmeperiode sowohl einen Liegeplatz als auch einen Freßplatz zur Verfügung hatte.

Die Anbringung einer Uhr im Blickfeld beider Kammerobjektive garantierte, daß synchrone Bildpaare ausgewertet wurden. Zusätzlich ließ sich mit dieser Uhr der jeweilige Aufnahmezeitpunkt bei der späteren Analyse festhalten. Die Analog-Uhr mit Sekundenzeiger und etwa 30 cm Durchmesser wurde vier Meter vor den Nicht-Meßkammern an der Stalldecke befestigt.

Die Einzeltierbetrachtung hat die zweifelsfreie Kennzeichnung aller Versuchstiere zur Voraussetzung. Deshalb wurden die 39 Versuchstiere (25 Schwarzbunte, 2 Fleckviehkühe, 12 Kreuzungstiere aus beiden Rassen) durch Aufmalen von Zahlenkombinationen im Schulter-, Bauch- und Rippenbereich gekennzeichnet (mit Hilfe vorgefertigter Zahlenschablonen der Größe 25 x 20 cm). Als Markierungsfarbe diente eine dunkle Kennzeichnungsfarbe (Ursol-schwarz), die sich ideal für die Langzeitmarkierung (3 - 4 Monate) von Versuchstieren mit hellem Haarkleid eignet. Sie zeichnet sich durch einen schnellen Trocknungsverlauf am Tierkörper aus, so daß sich das Verwischen der aufgetragenen Zahlen auf ein Minimum reduzieren läßt. Die Kennzeichnung der Tiere mit dunklem oder schwarzem Haarkleid wurde mangels geeigneter Markierungsmaterialien mit weißer Dispersionsfarbe vorgenommen, die sich jedoch für diesen Einsatzzweck als nur bedingt geeignet erwiesen hat.

Bei der Bildanalyse ist für die Digitalisierung der Meßobjekte in den Bildpaaren ein hohes Genauigkeitsniveau von ausschlaggebender Bedeutung: daher muß auf beiden Bildern eines Bildpaares jeweils der gleiche Punkt am Tierkörper als Meßpunkt fungieren. Bei der Stereobetrachtung ist das Aussuchen dieser homologen Bildpunkte einfacher. Als markanter Meßpunkt, der diese Funktion ausfüllen kann, ist der Widerrist der Kühe anzusehen. Deshalb war eine zusätzliche Markierung am Widerrist durch einen kreisförmigen Punkt von etwa 10 cm Durchmesser

erforderlich. Das Auftragen der 234 Ziffern und der 39 Meßpunkte am Widerrist konnte von zwei Personen innerhalb eines Tages vorgenommen werden. Die bisherigen Erfahrungen bei der Bildanalyse haben bestätigt, daß mit der Größe und Anordnung der Zahlenkombinationen am Tierkörper eine zufriedenstellende Identifizierung der Tiere garantiert werden kann.

4.3 Anbringung des Paßpunktsystems und Einbau der Registrieranlage

Die Anordnung des Paßpunktsystems erfolgte gleichmäßig über den gesamten Stallraum (Abb. 33).

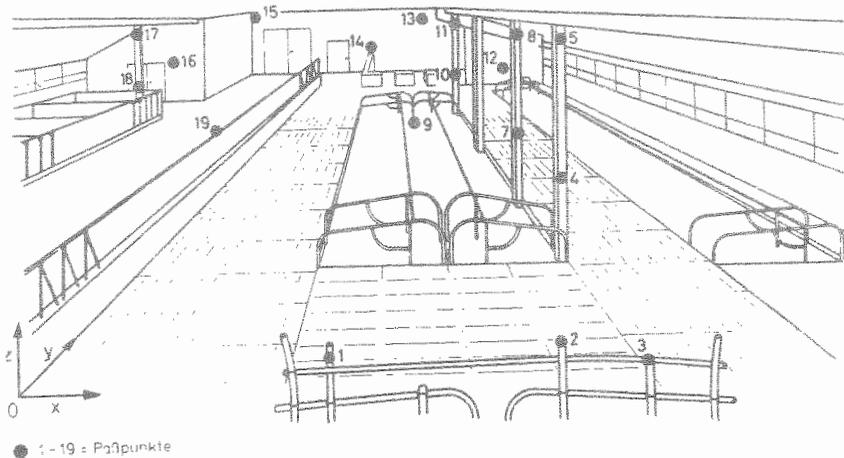


Abbildung 33: Anordnung des Paßpunktsystems im Versuchsstall

Es wurden 19 Paßpunkte (15 cm Durchmesser) gleichmäßig im gesamten Stallbereich angebracht. Die bei der geodätischen Einmessung ermittelten Lagekoordinaten der Paßpunkte sind in Tab. 11 wiedergegeben. Die große Anzahl der Paßpunkte sollte

sicherstellen, daß alle Unbekannten des Systems hinreichend genau bestimmt werden können. Ein Teil der Paßpunkte, die nicht zur Ausgleichung benutzt werden, können nachträglich als sogenannte "Kontrollpunkte" Aufschluß über die am Objekt erzielte Genauigkeit geben.

Zur Einrichtung, Wartung und Bedienung der Nicht-Meßkammern sowie zur Steuerung der Bildfrequenz während der eigentlichen Versuchsphase war die Erstellung eines Gerüsts erforderlich (Abb. 34).

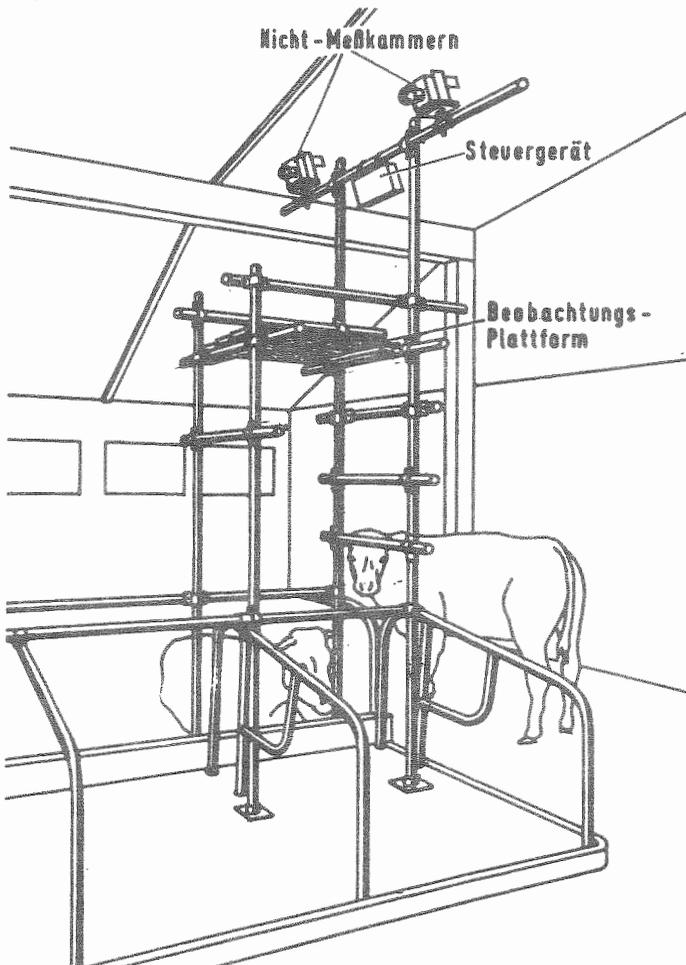


Abb. 34: Vorrichtung zur Einrichtung, Wartung und Bedienung der Nicht-Meßkammersysteme am Aufnahmeort

Diese Vorrichtung gewährleistete eine konstante und erschütterungsfreie Verankerung der beiden Nicht-Meßkammern mit maximaler Aufnahmehöhe und flexibel einstellbarem Basisabstand. Bei den verwendeten Nicht-Meßkammern handelte es sich um 35 mm Reihenbildkammern (Tab. 15).

Tabelle 15: Technische Daten der Nicht-Meßkammern
(35 mm Reihenbildkammern)

Merkmal	Verstellbereiche nach Angabe des Herstellers	Einstellung während des Versuchs
Blende	4 - 16	4
Belichtungszeit	1/30 - 1/250	1/15 [*])
Exakt-Negativformat des Bildfenst.	23,9 mm x 35,00 mm	-
maximale Bildfrequenz	3 Bilder/sec	von 10 sec - 15 min

^{*}) Verschußzeitenskala nachträglich auf 1/15 erweitert.

Die Erweiterung der Verschußzeitenskala erwies sich als notwendig, nachdem trotz der Verwendung von 27 DIN Schwarzweiß-Filmen, des Dauereinsatzes der Stallbeleuchtung (27 Neonröhren à 60 W) und einer Blendenstufe von 4 eine Belichtungszeit von 1/30 Sekunde nicht ausreichte, um kontrastreiche Aufnahmen mit ausreichender Qualität und Tiefenschärfe zu erzeugen. Aufgrund der räumlichen Verhältnisse am Aufnahmeort wurden die Reihenbildkammern mit Weitwinkelobjektiven ausgestattet (Tab. 16). Die Brennweite diente in diesem Falle als Näherungswert für die Kammerkonstante c_k , die in der Steuerdatei festgelegt ist. Gleichzeitig zur geodätischen Ermittlung der Paßpunktkoordinaten erfolgte die Einmessung der Aufnahmezentren (Tab. 17). Die manuell eingerichteten Standorte beider Nicht-Meßkammersysteme zeigten nahezu gleiche y- und z-Koordinaten. In gleicher Weise konnte die angestrebte Basis b von 1,7 m dazu exakt realisiert werden. Damit war es möglich mit einfachen Hilfsmitteln (Was-serwaage und Meßlatte) eine gute Einrichtung beider Nicht-Meßkammern am Aufnahmeort zu verwirklichen.

Tabelle 16: Technische Daten der verwendeten Weitwinkelobjektive

Merkmal	
Brennweite f	24 mm
Öffnungsverhältnis	1 : 4,0
Verzeichnungsfreiheit nach Herstellerangabe	ja
Einstellung der Entfernungsskala	unendlich
Bildwinkel Höhe	51°
Bildwinkel Breite	71,5°

Tabelle 17: Geodätisch ermittelte Koordinaten der Standpunkte beider Nicht-Meßkammern

Koordinate	Standpunkt I	Standpunkt II
x (m)	4,259	5,952
y (m)	-3,128	-3,116
z (m)	4,086	4,080

$$\text{Basis: } x_{II} - x_I = 5,952 - 4,259 = 1,693$$

4.4 Durchführung der Bilderzeugung

In Koordination mit dem betriebsspezifischen Arbeitsablauf setzte die Registriertätigkeit um 5 Uhr 30 mit dem Eintreiben der Kühe in den Warteraum vor dem Melkstand ein. Nahezu alle Tiere standen zu diesem Zeitpunkt bereits in den Laufgängen, nur ein geringer Teil ruhte in den Boxen und mußte aufgetrieben werden. Die Bildauslösung wurde von einer Beobachtungsperson jeweils für die Dauer von 4 - 6 Stunden vorgenommen. Die manuelle Auslösung mit Hilfe eines Handschalters war erforderlich, da keine verlässlichen Erfahrungswerte für konstante Aufnahmeintervalle vorlagen, um das gesamte Tierverhalten photogra-

phisch zu registrieren. Die Häufigkeit der Bildauslösungen wurde von folgenden Zielsetzungen bestimmt:

- Individuelle Erfassung der Standorte aller Versuchstiere unter besonderer Berücksichtigung des Lokomotionsverhaltens.
- Individuelle Registrierung aller ausgeführten Aktivitäten.

Bei der gleichzeitigen Überwachung von 39 Versuchstieren trafen beide Kriterien konzentriert auf, so daß sich mit einer photographischen Aufnahme eine Mehrzahl von gleichzeitig sich ereignenden Standort- und/oder Aktivitätsveränderungen festhalten ließ. Die gerade dominierende Aktivität (z.B. Liegen oder Fressen) beeinflusste den Zeitpunkt der Bildauslösung. Aufgrund eines ständigen Aktivitätswechsels innerhalb der Aufnahmeperiode mußte eine ständige Anpassung der Auslösezeitpunkte vorgenommen werden. Daraus ergaben sich Zeitabstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen von 5 sec bis hin zu 15 min. Kurze Bildabstände von 5 - 10 sec waren notwendig beim Eintreiben der Kühe in den Warteraum vor dem Melkstand, beim Verlassen des Melkstandes durch eine ganze Tiergruppe und bei der Futtervorlage, insbesondere bei der Kraftfuttervorlage. Intervalle von 30 sec - 2 min traten besonders nach der Entriegelung des Freßgitters und beim Aufsuchen von Liegeboxen auf. Während allgemeiner, ausgeprägter Liegephasen (Nachtstunden) konnten sich die Zeitspannen zwischen zwei Bildern auf mehrere Minuten erweitern.

Exakte Angaben über das Liegeverhalten (individuelle Liegezeiten, -häufigkeiten, Boxenpräferenzen etc.) erforderten eine zusätzliche Bilderstellung beim Betreten von Boxen, während der Abliege- und Aufstehvorgänge sowie beim Verlassen der Boxen. Ebenso war es notwendig diejenigen Kühe einzeln zu registrieren, die gerade den Melkstand betraten oder den Melkstand verließen, um die Reihenfolge beim Eintreten in den Melkstand zu untersuchen.

Der Analyse- und Interpretationsvorgang der erstellten Bildpaare wurde durch mehrere Zusammenhänge erschwert, die bereits in der Phase der Bilderstellung berücksichtigt werden mußten:

- Unterschiedliche Widerristhöhen der Kühe
- Hindernisse im Aufnahmegebiet wie z.B. Stützen
- Auswirkungen der Perspektive und der optischen Verzerrung, besonders ab einer gewissen Raumtiefe

Die unterschiedlichen Körpergrößen der Kühe konnten zur Folge haben, daß die aufgetragenen Zahlen nicht mehr zu identifizieren waren, wenn ein größeres Tier ein kleineres Tier verdeckte oder andere Hindernisse im Stall den Einblick beschränkten. Diese Situation war besonders dann zu beobachten, wenn sich Tiere dicht gedrängt aufhielten wie z.B. im Melkstand oder am Freßgitter. Die negativen Auswirkungen verstärkten sich mit zunehmender Stalltiefe unabhängig von den Funktionsbereichen. Ferner war bei der Bildauslösung zu beachten, daß die Wider- riste als Meßpunkte deutlich auf den Meßphotos abgebildet wurden. Diese Schwierigkeiten konnten reduziert werden, indem Aufnahmen mit rein informativem Charakter erstellt wurden, die jedoch nicht in die Analyse einbezogen wurden. Diese Aufnahmen ermöglichten die Identifizierung derjenigen Kühe, die sich offensichtlich in eine verdeckte Position begeben wollten, und die im darauffolgenden Bild nicht mehr zuerkennen gewesen wären.

Zur Minderung der Identifizierungsschwierigkeiten (besonders im hinteren Stallbereich) und zur Reduzierung des anfallenden Bildmaterials mittels der Aufnahmen mit rein informativem Charakter bieten sich drei Möglichkeiten an:

- Bereitstellung eines Tiermaterials mit gleichen Widerristhöhen
- Erhöhung der z-Koordinate des Aufnahmeortes
- Beobachtung eines einzelnen Funktionsbereiches

Im vorliegenden Fall war das Tiermaterial durch den Versuchsbetrieb vorgegeben. Bei der Festsetzung der Aufnahmehöhe wurde unter Berücksichtigung der lichten Stallhöhe bis an die obere Grenze herangegangen. Eine vollständige Registrierung und Quantifizierung des Liege-, Freß- und Lokomotionsverhaltens erforderte die Einbeziehung aller Funktionsbereiche in das Aufnahmegebiet beider Nicht-Meßkammern.

In Ergänzung zur photographischen Registrierung erstellte die jeweilige Beobachtungsperson ein Protokoll über wesentliche Vorgänge und besondere Vorkommnisse (Fütterungszeiten, Schließ- und Öffnungszeiten des Freßgitters, Melkzeiten, Zeiten der Kraftfuttermenge usw.).

4.5 Praktischer Verlauf der Bildanalyse

Das für die Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erforderliche Rüstzeug entsprach der Gerätetechnik, die in den Kapiteln 3.4.1 und 3.4.2 in allgemeiner Form vorgestellt worden ist (Abb. 35).

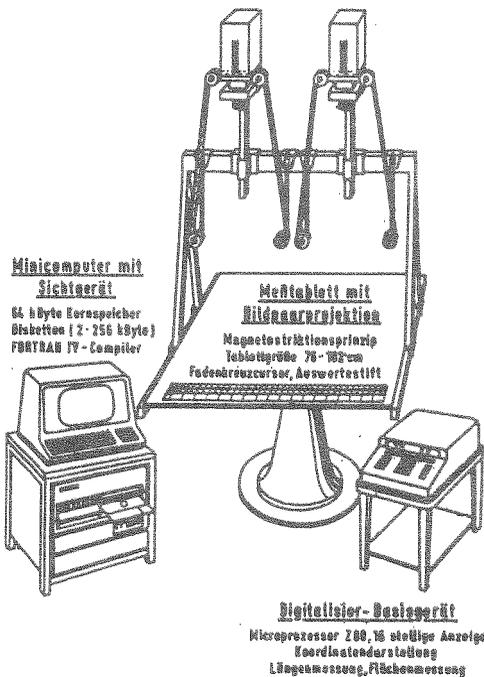


Abbildung 35: Bildanalyse-System zur Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare

Der Minicomputer und der x,y-Koordinatendigitalisierer mit einer Tablettgröße von 76 x 102 cm wurden durch die Doppelprojektionseinheit ergänzt. Das zur Vereinfachung der Dateneingabe konstruierte Menüfeld am unteren Rand des Meßtablets (vgl. Abb. 31) umfaßte drei Leisten (Tab. 18).

Tabelle 18: Merkmale des Menüfeldes

Anordnung der Leiste	Kriterium	Zahl der Eingabemöglichkeiten	Abmessungen der Kästchen auf d. Meßtablett in cm
oben	Paßpunktnummer	1 - 20	2 x 2
mitte	Kuhnummer	1 - 44	2 x 2
unten	Aktivitätscode	1 - 10	3 x 4

Während der Bildanalyse wurde das Menüfeld nicht voll in Anspruch genommen, da in der Regel nur mit fünf bis sieben Paßpunkten, maximal 39 Versuchstieren und zehn verschiedenen Aktivitätscodes gearbeitet wurde (Tab. 19).

Die Charakterisierung der Aktivitäten durch Bezeichnungen wie "Stehen im Melkstand" oder "Liegen in der Boxe" ergab sich aus den in unregelmäßigen Abständen erstellten Bildpaaren, die nur einen kurzen Ausschnitt einer u.U. länger andauernden Tätigkeit festhielten. Durch die Bildung von Zeitdifferenzen zwischen zwei aufeinanderfolgenden Bildpaaren konnten Aufenthaltsdauern für die verschiedenen Aktivitäten erfaßt werden. Ein dynamischer Vorgang wie "Gehen" kann in einer Momentaufnahme nicht festgehalten werden.

Neben den charakteristischen Aktivitäten "Stehen im Melkstand", "Stehen in der Boxe", "Liegen in der Boxe", "Stehen am Freßgitter", sowie "Stehen in den Laufgängen", die von den Tieren unbeeinflusst ausgeführt werden konnten, wurden die Aktivitäten im Warteraum vor dem Melkstand gesondert registriert. Der Warteraum vor dem Melkstand, der von den Tieren zwangsweise aufgesucht werden mußte, wurde durch Abtrennen eines Stallbereiches geschaffen. Die Registrierung des Tierverhaltens erfolgte in diesem Bereich entsprechend den möglichen Aufenthaltszonen nach

Tabelle 19: Charakterisierung der Aktivitätscodes

Aktivitätscode	Aktivität
0	Klauenpflege
2	Stehen im Melkstand
3	Stehen im Gang des Warteraumes vor dem Melkstand
4	Stehen in der Boxe
5	Liegen in der Boxe
6	Stehen am Freßgitter (Fressen)
7	Stehen in den Gängen
8	Stehen in der Boxe im Warteraum vor dem Melkstand
9	Liegen in der Boxe im Warteraum vor dem Melkstand
10	Liegen a.d. Spaltenboden

den Aktivitäten "Stehen im Gang des Warteraumes" und "Stehen bzw. Liegen in den Liegeboxen des Warteraumes". Der Aktivitätscode 6 "Stehen am Freßgitter" charakterisierte den Funktionskreis Fressen bzw. Futteraufnahme. Dieser Aktivitätscode wurde bei der Bildanalyse gewählt, wenn sich ein Tier am Freßgitter aufhielt und den Kopf durch das Freßgitter hindurchsteckte. Mit Hilfe des Aktionscodes 3 bzw. 7 ("Stehen im Gang des Warteraumes vor dem Melkstand" und "Stehen in den Gängen") wurden die Voraussetzungen einer genauen Analyse des Lokomotionsverhaltens geschaffen. Die Aktionscodes 0 und 10 ("Klauenpflege" und "Liegen auf dem Spaltenboden") wurden nachträglich einbezogen, da diese Vorgänge während der Aufnahmeperiode auftraten.

Die während des Digitalisiervorganges nach zehn verschiedenen Aktivitätscodes differenzierten Aktivitäten konnten zu sechs Aktivitätscodes zusammengefaßt werden, da die für den

Warteraum vor dem Melkstand gesondert berücksichtigten Aktivitätscodes bei der allgemeinen Betrachtung von zweitrangiger Bedeutung waren (Tab. 20).

Tabelle 20: Verwendete Aktivitätscodes zur Quantifizierung des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall

Aktivitätscode	Aktivität
4 + 8	Stehen in der Boxen
5 + 9	Liegen in den Boxen
6	Stehen am Freßgitter
7	Stehen in den Laufgängen
0 + 10	Sonstiges (Klauenpflege, Liegen auf dem Spaltenboden)

So konnte bei gleichbleibendem Informationsgehalt des Datenmaterials der Auswertungsaufwand reduziert werden.

Die Bearbeitung eines Bildpaares bzw. der Folge mehrerer Bildpaare gliederte sich in eine Interpretations- und Digitalisierungsphase sowie in den mathematischen Analyseprozeß (Abb. 36). Die im übergeordneten interaktiven Auswerteprogramm (STERDI) verankerten Bedienungsanweisungen steuerten die Einzelprozesse während der Interpretations- und Digitalisierungsphase. Während der Analyse eines Bildpaares wurden nur Standort- und/oder Aktivitätsveränderungen festgehalten, die jeweils eine Kuh von einem zum nächsten Bild vollzog. Als Vergleichsmaßstab für zwischenzeitlich erfolgte Veränderungen diente ein Meßbild des aktuellen Bildpaares, das mit dem Meßbild des folgenden Bildpaares verglichen wurde. Es hat sich als sinnvoll erwiesen, mit dem Selektieren der zu digitalisierenden Punkte in einem bestimmten Funktionsbereich des Stalles zu beginnen und dann systematisch den gesamten Stallbereich zu kontrollieren. Welcher Ausgangspunkt bei der Analyse gewählt wurde, hing in erster Linie von der jeweiligen lokalen Verteilung der Tiere sowie der individuellen Arbeitsweise der Auswerteperson ab. Waren

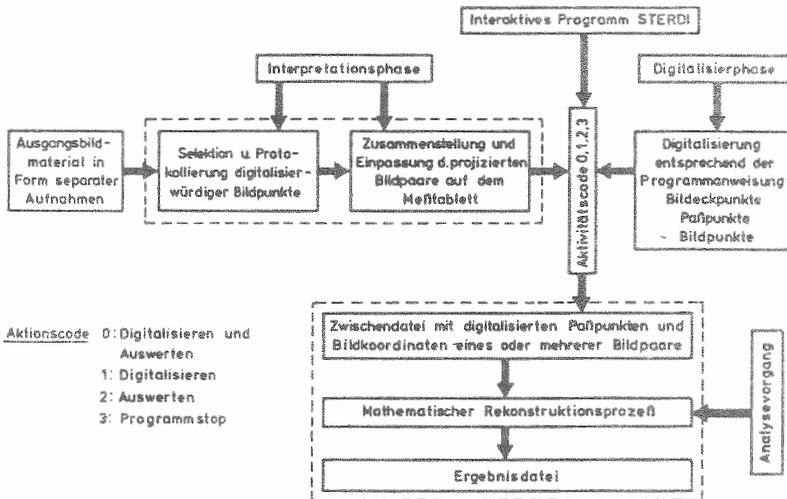


Abbildung 36: Ablaufschema bei der Bildanalyse

Veränderungen zu erkennen, so mußte jeweils das entsprechende Tier im neuen Bildpaar mit gleichem Standort bei veränderter Aktivität oder mit gleicher Aktivität bei verändertem Standort digitalisiert werden.

Die eindeutige Erkennung der Meßpunkte an den Widerristen der Tiere sowie der aufgemalten Zahlenkombinationen waren für den Digitalisiervorgang besonders wichtig. Entzog sich ein Tier auf dem aktuellen Bildpaar der Identifizierung, so konnte es in der Regel in den vorherigen oder nachfolgenden Bildern identifiziert und dessen Standort bzw. Aktivität in dem zu bearbeitenden Bildpaar nachvollzogen werden. Der Selektionsprozeß verursachte zeitliche Verzögerungen, wenn sich Tiere dicht gedrängt in einem Funktionsbereich konzentrierten (z.B. am Freßgitter oder im Melkstand). Dieser Schwierigkeit wurde bei der Bilderstellung durch zusätzliche Aufnahmen mit rein informativem Charakter Rechnung getragen. Die Protokollierung der in einem Bildpaar zu digitalisierenden Tiernummern und Aktivitätscodes erleichterte die Interpretation des Bildes und ermöglichte eine nachträgliche Kontrolle.

Nach Zusammenstellung und Einpassung des zu analysierenden Bildpaares auf den projizierten Lichtrahmen des Meßtablets waren die Voraussetzungen für die Digitalisierung gegeben. Bereits zu diesem Zeitpunkt bestimmte der Anwender mit der Vorgabe des Aktionscodes (0, 1, 2, 3) den Auswertungsmodus nach Beendigung der Digitalisiertätigkeit der aktuellen Bildserie (vgl. 3.4.7). Aus zeitlichen Gründen wurde in der Regel der Aktivitätscode 1 herangezogen, der die digitalisierten Daten in einer Zwischendatei ablegte und einer zeitlich versetzten Analyse zuführte.

Während des Digitalisiervorganges wurden - entsprechend den Anweisungen des Programmes - die über den Bildschirm ausgegebenen Parameter bestätigt oder variiert, und die bildspezifischen Informationen entweder manuell oder über den Digitalisierer bereitgestellt (vgl. Anhang). Die manuelle Eingabe bezog sich auf folgende Größen:

- Maximale Zahl der Iterationen (0 = 7)
- Name der Auswerteperson
- Angabe des Aktionscodes (0, 1, 2 oder 3)
- Name der Datei für die Ausgabe der errechneten x;y;z-Koordinaten
- Aufnahmezeitpunkt des aktuellen Bildpaares (Stunden, Minuten, Sekunden)

Über den Fadenkreuzcursor des x;y-Koordinatendigitalisierers wurden folgende Daten eingegeben:

- Paßpunkt- bzw. Kuhnnummern
- Bildkoordinaten der Paßpunkte bzw. Objekte (Kühe)
- Aktivitäten der Meßobjekte
- Signal zur Beendigung des Digitalisierprozesses
- Korrektur fehlerhafter Daten

Die Eingabe der spezifischen Paßpunkt- und Objektpunktinformationen war durch folgende Anweisungen auf dem Bildschirm gekennzeichnet:

Digitalisiere nun die einzelnen Kühe in der Reihenfolge (Eingabekorrekturmöglichkeiten durch Flag 1 = Merkmalwiederholung, Flag 2 = letztes Merkmal, Flag 1 + 2 = gesamtes Bild wiederholen):

Punktnr.	Kuhn.	linkes Bild	rechtes Bild	Aktivität
.....

Während dieses Schema in der Digitalisierphase auf dem Bildschirm stehenblieb, wurden die nachfolgend pro Zeile digitalisierten Koordinaten mit dem Erreichen der letzten Spalte des angegebenen Schemas gelöscht und parallel zum neuen Digitalisiervorgang kontinuierlich in der gleichen Zeile eingesetzt (Tab. 21).

Tabelle 21: Ablauf der Digitalisierung von Bildpaaren bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare

Digitalisieren	Bildschirmausgabe
1. Paßpunktnummer (102) auf Menüefeld Paßpunkt 102 linkes Bild Paßpunkt 102 rechtes Bild	→ fortlaufende Nummer 1 Paßpunktnummer (102) → } entsprechende x,y bzw. x'y' Koordinatenwerte
selbstständiges Abspeichern; Löschen dieser Zeile und Fortsetzung in der gleichen Zeile	
2. Paßpunktnummer (104) Paßpunkt 104 linkes Bild Paßpunkt 104 rechtes Bild	→ fortlaufende Nummer 2 Paßpunktnummer (104) → } entsprechende x,y bzw. x'y' Koordinatenwerte
Abspeichern und Löschen	
n. Paßpunktnummer (N) Paßpunkt (N) linkes Bild Paßpunkt (N) rechtes Bild	→ fortlaufende Nummer (x) Paßpunktnummer (N) → } entsprechende x,y bzw. x'y' Koordinatenwerte
Abspeichern und Löschen	
1. Kuhnummer (4) Meßpunkt Widerrist: Kuh 4 linkes Bild Kuh 4 rechtes Bild Aktivitätscode	→ fortlaufende Nummer (x ₁) Kuhnummer (4) } entsprechende x,y bzw. x'y' Koordinatenwerte 6 (Stehen am Freßgitter)
Abspeichern und Löschen	
n. Kuhnummer (10) Widerrist Kuh 10 " linkes Bild " rechtes Bild Aktivitätscode	→ fortlaufende Nummer (x ₂) Kuhnummer (10) } entsprechende x,y bzw. x'y' Koordinatenwerte 5 (Liegen in der Boxe)
Abspeichern und Abschluß der Bildeingabe durch Digitalisieren des Stopfeldes auf dem Menüefeld. Muß die gesamte Bildeingabe wiederholt werden?	

Die zeilenweise Ausgabe der digitalisierten Daten auf dem Bildschirm ermöglichte die optische Kontrolle der jeweils vollzogenen Eingaben und informierte über den aktuellen Stand der Digitalisierung. In der Digitalisierphase war nicht auszuschließen, daß bei der Eingabe eines Paß- oder Objektpunktes der Widerrist eines Tieres oder der Paßpunkt als Meßpunkt verwechselt wurde, oder daß eine Meßstelle auf dem linken Meßbild gewählt wurde, die auf dem rechten Meßbild nicht eindeutig nachzuvollziehen war. Durch die Flag-Tasten des Fadenkreuz-cursors (vgl. Abb. 13) waren im Programm Eingriffs- bzw. Korrekturmöglichkeiten vorgegeben. Wurde beispielsweise festgestellt, daß das letzte digitalisierte Merkmal der aktuellen Zeile auf dem Bildschirm falsch war, so konnte die unmittelbare Korrektur vorgenommen werden, indem bei beliebiger Lage des Abtasters auf dem Meßtablett der Flagschalter 1 betätigt wurde. Programmintern wurde der falsche Wert im Speicherbereich des Minicomputers gelöscht und durch erneutes Digitalisieren des ursprünglich falschen Merkmals erfolgte die Eingabe des korrigierten Wertes. Mit der schrittweisen Betätigung des Flagschalters 2 konnte nach dem gleichen Funktionsprinzip ein Fehler korrigiert werden, der sich in einer bereits abgespeicherten Zeile des aktuellen Bildpaares befand. Durch gleichzeitiges Betätigen der Flagschalter 1 und 2 wurden alle bereits digitalisierten Merkmale des aktuellen Bildpaares gelöscht, so daß alle Punkte dieses Bildpaares erneut eingegeben werden mußten. Bei allen Varianten war es gleichgültig, ob es sich bei der Korrektur um Paßpunkte, Kuhnummern oder digitalisierte x;y-Koordinatenwerte handelte.

Im ersten und im letzten Bildpaar einer Versuchsperiode von z.B. 24 Stunden galt es, den Standort und die Aktivität aller Tiere zu erfassen, da bei der späteren Interpretation von einem gemeinsamen Zeitpunkt ausgegangen werden mußte. Die Eingabe der zu digitalisierenden Paßpunkte bzw. Objektpunktkoordinaten konnte in beliebiger Reihenfolge erfolgen. Die Beendigung des Digitalisierprozesses für ein Bildpaar wurde initiiert durch das Antippen des Feldes "Stop" auf dem Menüfeld. Auf dem Bildschirm des Sichtgerätes erfolgte die Ausgabe von

Kontrollparametern (z.B. Maßstabfaktoren und Standardabweichungen der Helmert-Transformation) und die Frage:

- Muß die gesamte Bildeingabe wiederholt werden? -

Anhand der Kontrollparameter konnte sofort entschieden werden, ob eine erneute Digitalisierung des gleichen Bildpaares erforderlich war, oder ob der Interpretations- und Digitalisierungsprozeß des nächsten Bildpaares einzuleiten war. Aus der Bildanalyse der ersten vierundzwanzigstündigen Periode resultierten beispielsweise folgende Werte:

- Maßstabfaktor linkes Bild: 14,022

- Maßstabfaktor rechtes Bild: 14,017

Der Maßstabfaktor vom Originalnegativformat zur projizierten Bildgröße der Meßbilder dieses Bildpaares unterschied sich nur ganz geringfügig um etwa 1/100 und lag somit im optimalen Bereich. Die für dieses Bildpaar ermittelte Standardabweichung der Transformation ergab:

- linkes Bild: 0,055 mm

- rechtes Bild: 0,059 mm

Die Genauigkeit der Transformation betrug bei diesen Meßbildern etwa 5/100 mm und war damit ebenfalls im Optimalbereich anzusiedeln.

Mit der positiven Beantwortung der Abschlußfrage:

- Folgt ein weiteres Bildpaar? -

wurde ein erneuter Digitalisierungsprozeß eingeleitet. Die negative Beantwortung führte zur Beendigung der Digitalisierstätigkeit. Die Daten wurden in einer Zwischendatei abgelegt (Tab. 22). Diese Zwischendatei enthielt die Daten von drei digitalisierten Bildpaaren, die auch in dieser Reihenfolge nacheinander angefallen sind. Die mathematische Analyse dieser abgespeicherten Urdaten erfolgte mit dem Aktionscode 2 des für diesen Zweck leicht modifizierten Auswerteprogrammes STERDI. Alle Anweisungen, die das Digitalisieren betreffen, waren in dieser Version ausgeklammert. Das Programm verlangte lediglich die Eingabe des Namens der Datei mit den zu analysierenden Daten und den Namen der Datei mit den verrechneten Daten.

Tabelle 22: Aufbau einer Zwischendatei

0	30	42 ← Aufnahmezeitpunkt (Std., Min., Sek.)			
13	7	0.01253210	-0.00428083	0.00465911	-0.00434299
16	4	0.00630674	0.00011326	0.00086802	0.00010925
31	7	0.01532913	-0.00217669	0.00853303	-0.00218570
22	6	-0.00368985	0.00457279	-0.00619105	0.00464175
36	6	-0.00355252	0.00474973	-0.00590263	0.00484975
17	7	-0.00372310	0.00331084	-0.00693318	0.00337912
6	4	0.00949035	0.00373511	0.00617684	0.00374972
-99					

0	31	39			
23	6	-0.00455575	0.00416742	-0.00723177	0.00427282
35	6	-0.00383418	0.00444299	-0.00637795	0.00451675
31	4	0.00897197	0.00376121	0.00579216	0.00380472
6	5	0.00944918	0.00260773	0.00614166	0.00263853
19	4	0.00530648	0.00086609	0.00046692	0.00090009
16	5	0.00364859	-0.00116807	-0.00152662	-0.00115487
-99					

0	33	40			
36	4	0.00969717	0.00363203	0.00627292	0.00366969
6	7	0.00622319	0.00331656	0.00282209	0.00656274
31	5	0.00979032	0.00386271	0.00688744	0.00383758
35	6	-0.00395905	0.00427809	-0.00656525	0.00434783
13	7	0.01133361	0.00211816	0.00479176	-0.00210340

Kuhnummer
Aktivitätscode
x linkes Bild
y rechtes Bild
x' linkes Bild
y' rechtes Bild



auf den Bildhauptpunkt transformierte Bildkoordinaten in m

Während des Analyseprozesses ruft der Minicomputer die in der Zwischendatei abgespeicherten Urdaten auf, führte den mathematischen

Rekonstruktionsvorgang durch und legte die Ergebnisse unter dem vorprogrammierten Dateinamen auf Diskette ab. Nach Beendigung dieses Prozesses wurden ohne äußeren Eingriff die digitalisierten x;y-Koordinaten des nächsten Bildpaares aufgerufen und verrechnet. Dieser Prozeß setzte sich fort bis zur Bearbeitung des letzten digitalisierten Bildpaares der Zwischendatei, so daß mit dem Abschluß des Rechenprozesses eine vollständig analysierte Ergebnisdatei vorlag. Reichte die vorgegebene Iterationsgrenze von z.B. maximal sechs Iterationen nicht aus, um die digitalisierten Bildkoordinaten eines Bildpaares insgesamt zu verrechnen, so wurde der Aufnahmezeitpunkt des betreffenden Bildpaares in der Ergebnisdatei mit der Bemerkung kenntlich gemacht:

- Keine Auswertung möglich, da mehr als sechs Iterationen. - Diese Bildpaare mußten einem erneuten Digitalisiervorgang unterzogen werden. Abweichungen des Sigma-0-Wertes um mehr als 100 v.H. von einem zum folgenden Bildpaar besagten, daß das entsprechende Bildpaar grobe Fehler aufwies. Auch in diesem Falle hatte eine erneute Digitalisierung des betreffenden Bildpaares zu erfolgen.

4.6 Ergebnisdarstellung

Als Ergebnis eines direkten oder indirekten Auswertungslaufes lag eine Datei vor, die Daten eines oder mehrerer analysierter Bildpaare über einen bestimmten Zeitraum enthielt (Tab. 23). Zum Zeitpunkt der Erstellung dieses Bildpaares - 7 Uhr, 39 Minuten und 2 Sekunden - hatten vier Kühe (die Kuh Nr. 35, 12, 37, 20) eine Standort- oder Aktivitätsänderung vorgenommen. Bei der Ergebnisausgabe wurde für jedes Bildpaar der Name der Auswerteperson festgehalten, damit evtl. bestehende bedienungsspezifische Einflüsse bei der Anwendung des Verfahrens mit berücksichtigt werden konnten. Die individuelle Einzeltierbetrachtung machte die Angabe des Aufnahmezeitpunktes, der Kuhnummer und der zum Zeitpunkt der Bilderstellung ausgeführten Aktivität (Aktivitätscode) in jeder Datenzeile notwendig. Wichtigste Informationsquellen waren jedoch die ermittelten

Tabelle 23: Ergebnis der Stereoanalyse eines digitalisierten Bildpaares

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bock	7 39 2	35	7	18	2132	125	2	9	1	17,6
Bock	7 39 2	12	5	576	536	75	0	1	0	17,6
Bock	7 39 2	37	6	10	2509	112	2	13	1	17,6
Bock	7 39 2	20	4	924	1398	135	1	5	0	17,6

- 1 Name der Auswerteperson
- 2 Aufnahmezeitpunkt (Std, Min, Sec)
- 3 Kuhnummer
- 4 Code für die Aktivität
- 5 x - Koordinate in cm
- 6 y - Koordinate in cm
- 7 z - Koordinate in cm
- 8 Vertrauensbereich für die x - Koordinate in cm
- 9 Vertrauensbereich für die y - Koordinate in cm
- 10 Vertrauensbereich für die z - Koordinate in cm
- 11 Genauigkeitsparameter (ξ_0)

x;y;z-Raumpunktkoordinaten als Kriterium für den Standort der Versuchsobjekte. Die ermittelten x;y-Koordinatenpunkte bezogen sich auf ein übergeordnetes Koordinatensystem, das bereits zur Paßpunktvermessung herangezogen worden ist (Abb. 37).

Die angegebenen x-Koordinatenwerte beschrieben den Standort der betreffenden Kühe in x-Richtung, also in der Stallbreite. Die y-Koordinatenwerte definierten den Standort der Kühe in y-Richtung, also in der Stalltiefe. Die z-Koordinate als dritte Dimension konnte als Maß für die tatsächliche Widerristhöhe angenommen werden, wenn sich Kühe bei der Vermessung auf vergleichbarem Standniveau aufhielten (in stehender Position auf den Laufflächen) und dabei an den Widerristen digitalisiert wurden.

Auskunft über das bei der mathematischen Rekonstruktion der Raumpunktkoordinaten erreichte Genauigkeitsniveau vermittelten die Vertrauensbereiche. Der bei der Bildanalyse erzielte

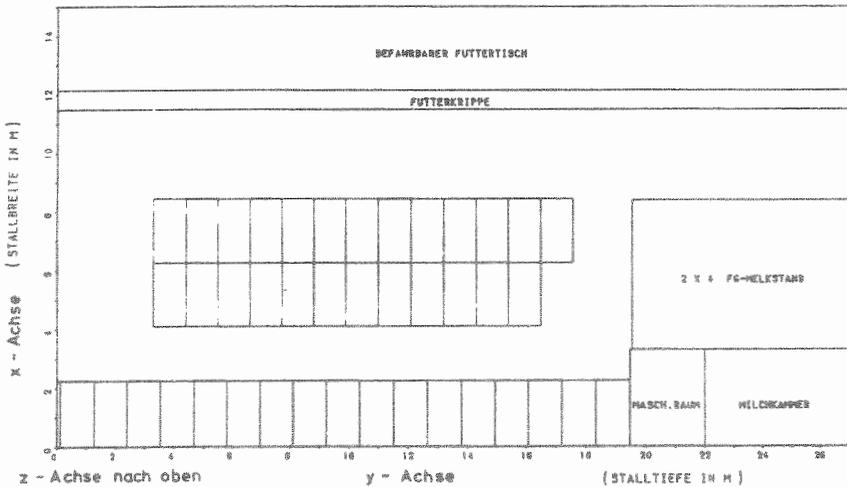


Abbildung 37: Koordinatensystem im Versuchsstall bei der Standortbestimmung der Versuchsobjekte (z-Achse nach oben)

Sigma-0-Wert diene als Anhaltspunkt für die bei jedem Bildpaar realisierte Digitalisiergenauigkeit. Darüber hinaus können in einer Ergebnisdatei die bildpaarspezifischen ausgeglichenen Werte der Unbekannten enthalten sein, insbesondere des Aufnahmeortes, der Bild Drehungen und der zusätzlichen Parameter, die als aufnahmetechnische Kontrollparameter heranzuziehen sind. Mit Hilfe dieser Kontrollgrößen ließ sich das gesamte Aufnahmesystem fortlaufend auf dessen Stabilität und Konstanz überprüfen. Ergaben sich im Verlaufe der Aufnahmeperioden deutliche Verschiebungen hinsichtlich der Koordinaten der Aufnahmeorte und der Orientierungsparameter, so mußte den betreffenden Werten in der Datei der beobachteten Werte ein geringeres Gewicht eingeräumt werden. Diese Kontrollparameter sowie die Sigma-0-Werte waren für die weitergehende fachspezifische Versuchsinterpretation nicht mehr von Bedeutung.

Durch Aneinanderfügen der Einzelergebnisse aus den verschiedenen Auswertungsläufen innerhalb einer vierundzwanzigstündigen Versuchsperiode entstanden Ergebnisdateien in unterschiedlicher Größe. Es wurden insgesamt 49 Dateien von jeweils einer halben Stunde zusammengestellt. Die Datei mit der maximalen Bildzahl von 39 analysierten Bildern wurde zwischen 20 Uhr und 20 Uhr 30 erstellt. Die kleinste Datei mit nur vier analysierten Bildpaaren ergab sich zwischen 3 Uhr 30 und 4 Uhr morgens.

Auf der Basis der vorliegenden Ergebnisdateien wurde mit einem Sortierprogramm (SORTFU /77/) eine Überprüfung des Datenmaterials vorgenommen. Nachdem aus dem geodätischen Vermessungsprozeß im Rahmen der Faßpunktvermessung die maximal möglichen Stallkoordinatenwerte in der Breite und in der Tiefe bekannt waren, wurden folgende Positionsangaben in den Einzeldateien aussortiert:

- x-Koordinatenwerte größer = 11,5 m (maximale Breite)
- y-Koordinatenwerte größer = 27,35 m (maximale Tiefe)

Obwohl der Maximalwert der y-Koordinatenwerte (Stalltiefe) bei 27,19 m lag, wurde aufgrund des Fehlerniveaus bei der Koordinatenbestimmung der Grenzwert bei 27,35 m festgesetzt, da die digitalisierten Positionen bei 27 m Stalltiefe mit einem mittleren Fehler von ca. \pm 15 cm behaftet waren.

Der entsprechende Fehleranteil der digitalisierten x-Koordinaten war aufgrund des geringen Fehleranteils von nur \pm 1 cm zu vernachlässigen, so daß für den Sortiervorgang der tatsächliche Wert als Grenzwert angenommen werden konnte. Die Zahl der insgesamt aussortierten Extremwerte lag bei ca. 0,5 v.H., was extrem niedrig ist. Ursache für diese Fehlersituation war meist mangelhafte Digitalisiergenauigkeit in den Bildern. Bildpaare, in denen solche Ausreißer auftraten, wurden erneut digitalisiert.

5. AUFBEREITUNG DER DIGITALISIERTEN URDATEN

Nachdem das Tierverhalten der Versuchsherde aus der ersten vierundzwanzigstündigen Periode in Rohform dokumentiert und quantifiziert worden war, bedurfte dieses Datenmaterial einer Aufbereitung nach fachlichen und methodischen Gesichtspunkten. Zur Überprüfung und Demonstration der neuentwickelten Methode der "Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare" reichte die gestraffte Interpretation einer vierundzwanzigstündigen Beobachtungsperiode aus.

Von den insgesamt 1 320 erstellten Bildpaaren wurden 937 in die Analyse einbezogen. Das Zusammenfügen aller Einzeldateien zu einer Gesamtdatei war mit dem Minicomputer von 64 k-Byte aufgrund der zu geringen Speicherkapazität der Diskette nicht vorzunehmen. Daher wurden die Einzeldateien über ein Disketten-Einlesegerät auf eine Großrechenanlage überspielt. Entsprechende Programme erlaubten die anschließende Weiterverarbeitung des Datenmaterials.

Die Datenaufbereitung mußte prinzipiell unter drei Aspekten vorgenommen werden:

- Überprüfen des digitalisierten Basismaterials auf Fehler mit anschließender Korrektur
- Reduktion bzw. Verdichtung des umfangreichen Datenmaterials, ausgerichtet auf die spezifischen Fragestellungen des Versuches
- Erstellung eindeutiger Aussagen sowohl für das spezifische Herdenverhalten als auch für das Individualverhalten der Tiere

Daher wurde es notwendig, neben den Standardprogrammen für die Versuchsauswertung (Häufigkeits-, Mittelwert-, Sortier- und Plottprogramme etc.) drei ergänzende Programme zu konzipieren: ZEIDIFS, XYDIFF und PLOTTZ.

ZEIDIFS (/84) ermöglichte:

- 1) Die Ermittlung von individuellen Zeitdifferenzen aus der Gesamtzahl der für ein Tier über den Versuchszeitraum erfaßten Momentaufnahmen

2) Die Beseitigung von Mehrfachdigitalisierungen eines Tieres an einer Position mit gleichbleibender Aktivität. Bei der Erstellung von ZEIDIFS wurde davon ausgegangen, daß während des Digitalisiervorganges in einem Bildpaar alle aktiven und/oder standortverändernden Kühe registriert werden. Durch die Aneinanderreihung aller Momentaufnahmen einer vorgegebenen Aufnahmeperiode entstand eine Folge von Datenzeilen, die chronologisch alle erfaßten Tieraktivitäten (Aktivitäts-codes) mit den entsprechenden Standortangaben beinhalteten. Es war jedoch nicht notwendig, alle Tiere in jedem Bildpaar zu erfassen, weil Tieraktivitäten oder bestimmte Standorte, z.B. Liegen in der Boxe, über längere Zeiträume konstant blieben. Bei der tierindividuellen Quantifizierung einzelner Aktivitäten wurden deshalb neben den betreffenden Standortangaben die Anfangs- und Endzeitpunkte der jeweiligen Aktivität als Grundlage der Zeitdifferenzenbildung benötigt. Dementsprechend bildete ZEIDIFS aus den Aufnahmezeitpunkten der ersten und der folgenden Datenzeile mit gleichem Aktivitätscode oder verändertem Standort tierspezifische Zeitdifferenzen.

Der Berücksichtigung der zweiten Forderung, nämlich der Beseitigung von mehrfach digitalisierten Tierpositionen, wurde durch Einführung von aktivitätsspezifischen Grenzwerten für die ermittelten x;y;z-Standortkoordinaten Rechnung getragen. Diese Fehlerquellen konnten besonders zustandekommen bei der Digitalisierung gleichbleibender Tätigkeiten an konstanten Positionen über mehrere Bilder hinweg. ZEIDIFS eliminierte diejenigen Datenzeilen, die dasselbe Tier mit der gleichen Aktivität mehrfach an identischen Positionen anzeigten und trägt damit zur Objektivierung des Datenmaterials bei. Die Beseitigung der überflüssig digitalisierten Tierpositionen erfolgte in der Weise, daß die x- bzw. y-Koordinatenwerte von unmittelbar aufeinanderfolgenden Datenzeilen mit gleichem Aktivitätscode nur dann berücksichtigt wurden, wenn die Differenz zwischen den x- bzw. y-Werten aus beiden Zahlenwerten größer war als der vorgegebene Grenzwert (Tab. 24).

Tabelle 24: Grenzwerte der Aktivitätscodes im Programm ZEIDIFS

Aktivitätscodes	Bezeichnung der Aktivität	Grenzwerte in cm	
		x	y
4 und 8	Stehen in den Boxen	./.	55
5 und 9	Liegen in den Boxen	./.	55
6	Stehen am Freßgitter	./.	33
7 und 3	Stehen in den Laufgängen	30	30

Die Lage des Meßpunktes konnte bei den Aktivitäten "Stehen am Freßgitter" und "Stehen in den Boxen" nahezu immer in der Mitte des betreffenden Freß- bzw. Liegeplatzes angenommen werden. Bei einer vorgegebenen Liegeboxenbreite von 1,10 m wurde der Grenzwert mit 0,55 m festgesetzt, so daß mit der Vorgabe dieses Wertes in jedem Fall eine korrekte Zuordnung zur entsprechenden Liegeboxe gewährleistet war. Traten beispielsweise in zwei aufeinanderfolgenden Zeilen mit dem Aktivitätscode 4 (Stehen in der Boxe) die y-Werte 8,20 m und 8,25 m auf, so wurde in diesem Fall der zweite y-Wert (8,25 m) nicht berücksichtigt, da es sich bei diesen Ortsangaben eindeutig um die identische Liegeboxe handelte.

Der gleiche Sachverhalt ergab sich bei der Aktivität "Stehen am Freßgitter". Bei der vorgegebenen Freßplatzbreite von 0,66 cm war der Grenzwert für die Aktivität mit 33 cm festgelegt, so daß auch bei dieser Aktivität eine korrekte Zuordnung garantiert werden konnte. Die Berücksichtigung der entsprechenden x-Werte für die Aktivitäten "Liegen" und "Fressen" war nicht erforderlich, da sich eine veränderte Tierposition nur in y-Richtung, also von einem Freßplatz bzw. Liegeplatz zum darauffolgenden, einstellen konnte. Bei der Aktivität "Stehen in den Laufgängen" fand die x- und y-Koordinate Berücksichtigung, da zur Ermittlung von Wegstrecken im Liegeboxenlaufstall die allseitigen örtlichen Veränderungen im gesamten Aufenthaltsbereich der Tiere zu registrieren waren.

Die Aktivität "Liegen in der Boxe" verursachte bei der Programmgestaltung eine zusätzliche Maßnahme, weil der Meßpunkt bei liegenden Tieren u.U. nicht zu erkennen war, wenn diese durch andere Tiere oder durch Liegeboxenabtrennungen verdeckt wurden. Ferner war die Möglichkeit nicht auszuschließen, daß Tiere links- oder rechtsseitig in der Boxe ablagen, so daß der Widerrist in die äußere Zone der Liegeboxe nahe der Boxenabtrennung zu liegen kam. Eine Meßwerterfassung in dieser Position konnte dazu führen, daß das Tier nicht der Boxe zugeordnet werden konnte, die es tatsächlich während des Versuchs eingenommen hatte. Um diese Fehlinterpretationen auszuschließen, prüfte ZEIDIFS bei Auftreten der Aktivität "Stehen in der Boxe" zunächst den Aktionscode, der sich in der nächsten bzw. übernächsten Datenzeile anschloß. Folgte der Aktivitätscode 5 (Liegen in der Boxe) und 4 (Stehen in der Boxe) in der darauffolgenden Zeile, so wurden die x- und y-Koordinaten dieser Zeile in den beiden vorherigen Datenzeilen übernommen, so daß die drei ortsgleichen Vorgänge (Betreten der Boxe, Abliegen in der Boxe und Durchführung des Aufstehvorganges) mit der gleichen Standortkoordinate versehen waren. Es wurden jeweils die x- und y-Koordinatenwerte der letzten Zeile als Positionsangaben herangezogen, da das Tier nach dem Aufstehvorgang sich noch vollständig in der Boxe aufhielt, während beim Betreten der Boxe die Tiere oft diese nur teilweise betraten oder eine schräge Position einnahmen. Analog dazu wurde bei den anderen möglichen Kombinationen verfahren (Stehen in der Boxe (4), Liegen in der Boxe (5) bzw. Liegen in der Boxe (5), Stehen in der Boxe (4)), wobei in diesen Fällen die Koordinaten des nur einmal vorliegenden Aktivitätscode 4 (Stehen in der Boxe) eingesetzt wurden.

XYDIFF (/78/) erlaubt die Bestimmung linearer Abstände von x;y-Koordinatenwerten, wenn diese sequentiell lesbar waren, d.h. pro Datenzeile ein Koordinatenpaar vorhanden war. Der Summenwert wurde gebildet, indem jeweils die kürzesten Verbindungen von einem Punkt zur folgenden Position als Differenz zwischen zwei Koordinatenpunkten gewählt wurde. Da jeweils die kürzeste Differenz zwischen zwei Koordinatenpaaren gebildet wurde,

entsprach der für die insgesamt zurückgelegte Wegstrecke ermittelte Summenwert nicht der natürlichen, tatsächlich zurückgelegten Wegstrecke eines Tieres im Liegeboxenlaufstall. Diese Diskrepanz wurde durch Einführung eines Faktors beseitigt, der den quantitativen Zusammenhang erfaßt zwischen den in Abhängigkeit von der Bildfrequenz digitalisierten Tierpositionen im Stall und den aufgrund der vorhandenen Stalleinrichtung zwangsläufig zurückgelegten Wegstrecken. Durch Multiplikation der absolut errechneten Wegstrecke innerhalb eines bestimmten Zeitraumes mit einem Faktor konnten die natürlichen Wegstrecken quantitativ und individuell bestimmt werden.

Zur graphischen Darstellung digitalisierter Tierpositionen im Rahmen der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare diente PLOTZ (/83/), das die graphisch darzustellenden x;y-Koordinatenwerte, die in einer Zugriffsdatei gespeichert sind, auf entsprechenden Medien (Papier, Bildschirm) sichtbar abbildete.

Der Verlauf der Datenaufbereitung gliederte sich in acht Phasen (Abb. 38). Die erste und zweite Phase waren dadurch gekennzeichnet, daß die mit dem graphischen Bildanalyseprogramm und dem Auswerteprogramm STERDI erzeugten n-Ausgangsdateien (Auswe. 001-Auswe.n) nach der Übertragung auf einen Großrechner eine Gesamtdatenbank aus n-Einzeldateien darstellten. Aus Sicherheitsgründen wurden die Ausgangsdateien auf Magnetband überspielt und lagen damit jederzeit zum erneuten Abruf bereit.

Der dritte Schritt war von der Zielsetzung geprägt, das vorliegende Datenmaterial zu reduzieren und zu verdichten, so daß nur essentielle, versuchsorientierte Daten bei der weiteren Analyse berücksichtigt werden mußten. Diese Reduktion erfolgte durch die Löschung aller programmrelevanten Kontrollgrößen (Werte der Unbekannten und die Sigma-0-Werte). Damit enthielt die Ausgangsdatei (STALKO 1) noch 6 995 versuchsrelevante Datenzeilen, wobei jede dieser Zeilen in chronologischer Reihenfolge über die vierundzwanzigstündige Aufnahmeperiode eine Tierposition bzw. einen Aktivitätsstatus

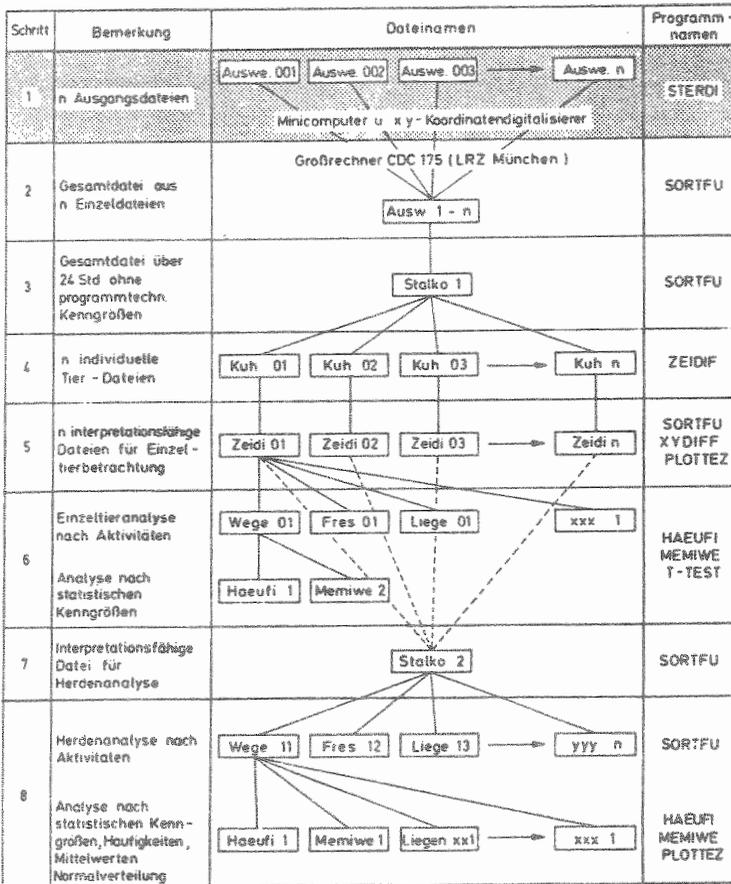


Abbildung 38: Ablaufschema zur Analyse digitalisierter Tierpositionen und Tieraktivitäten im Liegeboxenlaufstall

zu einem bestimmten Aufnahmezeitpunkt repräsentierte. Im vierten Schritt der Aufbereitung wurden durch Aussortieren der Datensätze, die jeweils für eine Kuh innerhalb des vierundzwanzigstündigen Versuchszeitraumes erfaßt worden sind, n-individuelle Tierdateien erstellt.

Da diese Form der chronologisch während des gesamten Versuchszeitraumes erfaßten Tieraktivitäten keine Aussagefähigkeit besaß, erfolgte in der fünften Phase die Bearbeitung der

ursprünglichen "Kuh-Dateien" mit dem Programm ZEIDIFS, so daß n interpretationsfähige, tierspezifische Dateien (ZEIDI-Dateien) als Basis für die Einzeltierbetrachtung vorlagen (Tab.25).

Tabelle 25: Auszug aus einer tierspezifischen Ergebnisdatei (Kuh Nr.33)

Name d. Auswerteperson	Beginn der Aktivität (Std; Min; Sek)	Ende der Aktivität (Std; Min; Sek)	Dauer der Aktivität in Zenitminuten	Kuhnummer	Aktivitätscode	x-Koordinatenwert in cm	y-Koordinatenwert in cm	z-Koordinatenwert in cm
Zips	5 35 49	5 48 12	124	33	3	830	1557	134
Zips	5 48 12	5 56 50	86	33	3	614	1870	126
Zips	5 56 50	6 7 20	105	33	2	408	2309	129
Zips	6 7 20	7 22 50	755	33	6	233	2530	128

Aktivitäts - code	2	Aufenthalt im Melkstand
	3	Aufenthalt im Gang des Warteraumes vor dem Melkstand
	4	Stehen in der Boxe
	5	Liegen in der Boxe
	6	Aufenthalt am Freßgitter
	7	Aufenthalt auf den Laufflächen
	8	Stehen in der Boxe im Warteraum vor dem Melkstand
	9	Liegen in der Boxe im Warteraum vor dem Melkstand

Alle Standort- und Aktivitätsangaben der Kuh Nr. 33 beziehen sich auf den Zeitraum von 5 Uhr, 35 Min. und 49 Sek. bis 7 Uhr, 22 Min. und 50 Sek.. Innerhalb dieser Zeitspanne wurde Kuh Nr. 33 für 12,4 Min. bzw. 8,5 Min. an zwei verschiedenen Positionen im Warteraum vor dem Melkstand beobachtet. Die y-Koordinatenwerte von 15,57 m bzw. 18,7 m besagen, daß sich diese Kuh bereits zu Beginn der morgendlichen Melkzeit unmittelbar vor dem Melkstand aufgehalten hat. Nach einem 10,5 minütigen Aufenthalt im linken Bereich des 2 x 4 Fischgrätenmelkstandes (x-Koordinatenwert = 4,08 m) wurde die Kuh für 75,5 Min. am Freßgitter parallel zum Melkstand (x-Koordinatenwert 25,30 m) registriert. Entsprechend diesem Schema sind alle relevanten Versuchsangaben für jede Kuh in einer separaten Datei gespeichert.

In der sechsten Phase wurde die quantitative, aktivitätsgebundene und statistische Einzeltieranalyse durchgeführt (z.B. Wege.01, Fressen.01, HAEUFI.1, MEMIWE.1).

Parallel zur Einzeltieranalyse erfolgte die Aufbereitung der komprimierten Datei STALKO, die durch Zusammenhängen der n interpretationsfähigen Dateien aus der Einzeltieranalyse erstellt worden war, analog des im sechsten Schritt vorgestellten Aufbereitungsmodus.

Im Verlauf der sechsten und achten Phase der Aufbereitung lag der Schwerpunkt auf der Untersuchung und quantitativen Einordnung des Aktivitätsverlaufs der gesamten Herde bzw. aller Einzeltiere nach verschiedenen Aktivitätsparametern (Fressen, Liegen, Fortbewegung). Die resultierenden Dateien bezogen sich dann auf einen Aktivitätsstatus, den ein Tier oder alle Tiere innerhalb des zugrundegelegten Versuchszeitraumes ausgeführt haben. Die quantitative Aufbereitung und statistische Absicherung der aktivitätsspezifischen Herden- und Einzeltierdateien erfolgte mittels spezieller Auswerteprogramme (z.B. HAEUFI /75/, MEMIWE /76/). Die Analyse bezog sich im einzelnen auf die Ermittlung der absoluten und prozentualen Häufigkeiten, der Mittelwerte, der Maximal- bzw. Minimalwerte, der Standardabweichungen, der Variationskoeffizienten, der Signifikanzen usw..

Zur Kontrolle der mathematisch rekonstruierten Tierpositionen in Form aktivitätsgebundener Dateien diente das Programm PLOTZ. Durch Bearbeitung dieser Dateien mit PLOTZ wurden die digitalisierten Koordinaten mit identischen Aktivitätskodes unmittelbar in den Stallgrundriß eingezeichnet. Die Kontrolle dieser Daten erfolgte entweder am graphischen Sichtgerät oder auf einem PLOTT (Papierzeichnung). Die ausgegebenen Positionen einer Datei durften dabei nur in dem vorgegebenen Funktionsbereich des Stalles auftreten (z.B. Liegeboxenbereich oder Fraßgitterbereich). Wurden beispielsweise alle mit dem Aktivitätscode 5 (Liegen in der Boxe) versehenen Positionen graphisch dargestellt, so durften diese Punkte nur im Bereich der Liegeboxen anzutreffen sein. Befand sich eine Tierposition unmittelbar am Fraßgitter, so mußte davon ausgegangen werden, daß bei der Digitalisierung der betreffenden Situation hinsichtlich der Aktivitätscodes eine Verwechslung des Codes 5 (Liegen in der Boxe) und 6 (Stehen am Fraßgitter) vorlag.

6. BEISPIELE VON VERSUCHSERGEBNISSEN

Nach der Vorstellung der beobachteten herdenspezifischen Aktivitätsverteilung (Fressen, Liegen usw.) werden stellvertretend für die vielfältigen Auswertungsmöglichkeiten des Datenmaterials, das mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare zu erzielen ist, am Beispiel des Liegeverhaltens einige Varianten erläutert. Im Vordergrund steht zunächst das Liegeverhalten der gesamten Herde, das mit Hilfe von Durchschnittswerten quantifiziert wird. Darüber hinaus werden einige Ergebnisse des individuellen Liegeverhaltens (Liegezeiten, Liegephasen, Boxenpräferenzen usw.) angeführt, die nur durch Anwendung der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare bereitgestellt werden konnten.

6.1 Quantitative Analyse des Herdenverhaltens

Einen ersten Eindruck über die Aktivitätsverteilung der Herde ließ die Überprüfung der erfaßten Aktivitätsmuster nach dem Gesichtspunkt "Verweildauer in einzelnen Funktionsbereichen" erwarten (Abb. 39).

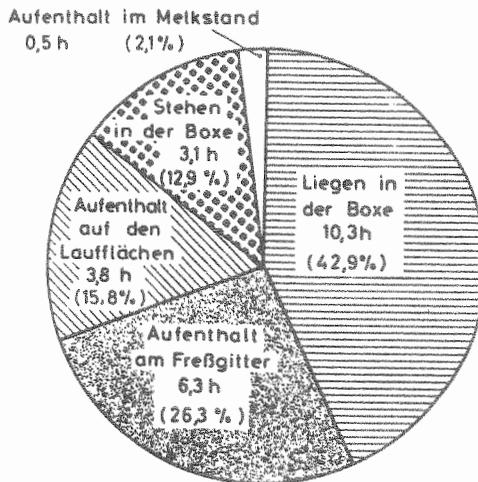


Abbildung 39: Durchschnittliche, zeitliche und prozentuale Belegung der einzelnen Funktionsbereiche pro Tier und Tag im Liegeboxenlaufstall

Während einer vierundzwanzigstündigen Periode verbrachten die Herdenmitglieder unter den natürlichen, im Versuchsstall anzutreffenden Verhältnissen durchschnittlich etwa die Hälfte der Zeit, nämlich 13,4 Stunden (55,8 v.H.), stehend oder liegend in den Boxen. 10,3 Stunden (42,9 v.H.) wurden liegend in der Boxe verbracht; 3,1 Stunden (12,9 v.H.) stand ein Tier durchschnittlich in der Boxe. Für die Tätigkeit "Fressen" wurde durchschnittlich pro Tier eine tägliche Aufenthaltsdauer am Freßgitter von 6,3 Stunden (26,3 v.H.) registriert. Der Aufenthalt auf den Laufflächen, die als Verbindungswege zwischen den einzelnen Funktionsbereichen eine bedeutende Funktion einnehmen, betrug pro Tag durchschnittlich etwa 3,8 Stunden (15,8 v.H.). Neben der Funktion als Verkehrsfläche wurden Laufgänge aber häufig auch als Aufenthaltsort während ausgeprägter Stehphasen genutzt. Die Tiere verweilten dann mehr oder weniger am gleichen Ort, obwohl ein Teil der Liegeboxen nicht durch andere Tiere belegt war. Von allen Funktionsbereichen des Liegeboxenlaufstalles wurde der Melkstand zeitlich am wenigsten in Anspruch genommen. Täglich verbrachte ein Tier durchschnittlich etwa 30 Minuten (2,1 v.H.), d.h. pro Melkzeit etwa 15 Minuten, im Melkstand.

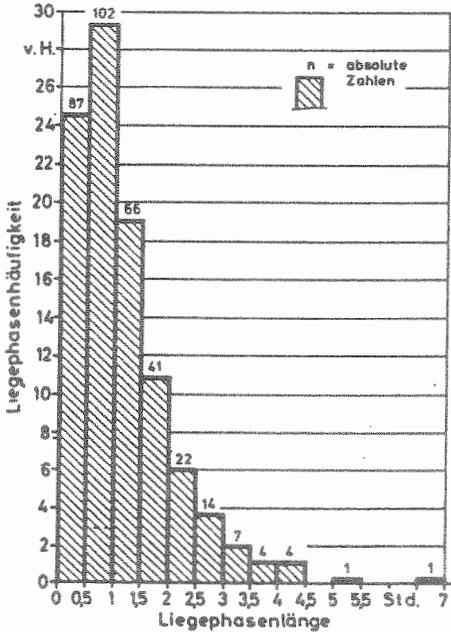
6.2 Das Liegeverhalten der Herde

Neben den beobachteten Liegephasen wurden auch Stehzeiten in den Boxen und längere Aufenthalte auf den Laufgängen an gleicher Stelle partiell in den Funktionskreis "Ruhe" einbezogen (ZEEB 1970 /69/).

Die Ergebnisse der Mittelwertanalyse aus dem Grundlagenmaterial zeigten folgendes Bild:

- Zahl der Liegeperioden insgesamt: 349
- Zahl der Liegeintervalle pro Tier und Tag: 8,9
- Schwankungsbreite der Liegephasenlängen: 0,8-408,8 Min.
- Standardabweichung: 56,9 Minuten
- Durchschnittliche Dauer einer Liegeperiode pro Tier und Tag: 77,3 Minuten

Die Ergebnisse einer Häufigkeitsanalyse quantifizieren und klassifizieren im Detail das typische Liegeverhalten der Herde (Abb. 40).



39 Kühe, 39 Liegeboxen, 349 Liegephasen, 24 Std.-Periode

Abbildung 40: Häufigkeitsanalyse zur Charakterisierung des Liegeverhaltens

Von den insgesamt 349 registrierten Liegephasen entfielen 87 (24,9 v.H.) auf den Zeitraum 0 - 30 Minuten Dauer. 102 Liegeperioden (29,2 v.H.) wurden mit einer Zeitspanne von 30 - 60 Minuten ermittelt, während 66 Liegephasen (18,9 v.H.) aller Ruheperioden 60 - 90 Minuten beanspruchten. Liegezeiten von 90 - 120 Minuten wurden für 41 (11,8 v.H.) Liegephasen registriert. 53 Liegeperioden (15,2 v.H.) dauerten länger als 2 Stunden an.

Auffallend sind zwei extrem lange Liegezeiten von über fünf Stunden, die für die Kuh Nr. 18 und Kuh Nr. 29 gemessen wurden. Kuh Nr. 18 lag 5,2 Stunden (von 23.51.01 Uhr bis 5.03.08 Uhr) in der Boxe mit der Nr. 8, während die Kuh Nr. 29 eine maximale Liegephase von 6,8 Stunden (von 22.06.30 Uhr bis 4.55.28 Uhr) in der Boxe Nr. 4 verbrachte.

Zum Vergleich der mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erzielten Ergebnisse des Liegeverhaltens konnten Versuchsergebnisse anderer Autoren herangezogen werden, die mit unterschiedlichen Versuchsmethoden (visuelle Dauerbeobachtung, Lichtschrankensystem, photographische Registrierung mit Rasterbildauswertung), verschiedenen Tierzahlen (5 - 10) und verschiedenen Liegeboxenformen ermittelt worden sind (Tab. 26). Im Gegensatz zu den Versuchsanstellungen der Autoren konnte mit der Methode der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare eine große Zahl von Versuchstieren (39) in die Untersuchungen einbezogen werden. Die nach verschiedenen Verfahren ermittelten Gesamtliegezeiten variierten zwischen 568 und 798 Minuten, während die Zahl der Liegephasen und die durchschnittliche Liegephasenlänge der Herde bzw. einzelner Tiere der Herde zwischen 6,5 und 11,6 bzw. 53,2 Minuten und 87 Minuten schwankten. Werden die bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erzielten Ergebnisse (durchschnittliche Gesamtliegezeit von 621 Minuten bei 8,9 Liegephasen mit durchschnittlicher Liegephasenlänge von 77,3 Minuten) diesen Angaben gegenübergestellt, so liegen sie größenordnungsmäßig im Rahmen der vorhandenen Literaturwerte.

Tab. 26: Literaturangaben verschiedener Liegeparameter

Autor	Versuchsmethodik	Zahl d. gleichzeitig untersuchten Kühe () = Boxenform	Ø Gesamtliegezeit in min/Tier/Tag	Ø Zahl der Liegeintervalle je Tier und Tag	Ø Liegephasenlänge der Herde
Süss 1973	visuelle Dauerbeobachtung	10 (Liegebuchten)	568	6,5	87
Meyer-Ötting 1979	visuelle Dauerbeobachtung	3 x je 8 (Kombibuchten)	1. Periode 580 2. Periode 597	9,5 10,0	61 80
Kaiser u. Lippitz 1974	visuelle Dauerbeobachtung	- (Liegeboxen)	744	9,3	85
Wander 1977	Lichtschranken-system	10 10 (Liegeboxen)	738 798	- -	68 70
Högermeyer 1978	visuelle Dauerbeobachtung	14 bzw. 12 (Liegeboxen)	607	8,5	80
Martin 1980	photographische Registrierung (Raster-Bildauswert.)	5 (Liegeboxen)	615	11,6	53,2 [*])
Zips 1982	Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare	39 (Liegeboxen)	621	8,9	77,3 [*])

*) Diese Angaben beziehen sich auf die durchschnittliche Liegephasenlänge eines Tieres der Herde.

6.3 Das individuelle Liegeverhalten

Die quantitative Analyse des individuellen Liegeverhaltens der 39 Versuchstiere erfolgte durch Anwendung eines Sortierprogrammes (SORTFU). Als Basis diente die aktivitätsspezifische Datei, die die insgesamt 349 registrierten Liegephasen des Versuchszeitraumes enthält (Tab. 27). Neben der absoluten und prozentualen Erfassung individueller Gesamtliegezeiten konnten aus dem mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erzeugtem Datenmaterial auch Kriterien untersucht werden, wie beispielsweise Zahl der Liegephasen, Zahl der pro Tag aufgesuchten Liegeboxen und durchschnittliche Liegephasenlängen je Kuh.

Die Gesamtliegezeiten pro Tier und Tag variierten zwischen 325,6 Minuten (Kuh Nr. 11) und 1 047,3 Minuten (klauenkranke Kuh Nr. 24). Während die Kuh Nr. 24 73 v.H. der 24-Stundenperiode lag, wurde für die Kuh Nr. 11 nur ein Wert von 23 v.H. ermittelt. Als mittlere Gesamtliegezeit ergab sich ein Zeitraum von 620,6 Minuten (43 v.H. des vierundzwanzigstündigen Zeitraumes).

Die individuelle Zahl der Liegephasen pro Tier und Tag schwankte zwischen 4 und 16 Liegeperioden. Diese Werte wurden für die Kühe Nr. 4 bzw. 9 ermittelt, obwohl sich die Gesamtliegezeiten beider Kühe mit 554,1 Minuten und 540,3 Minuten nur geringfügig unterschieden.

Für die während der Aufnahmeperiode beobachteten Liegephasen wurden 271-mal Liegeboxen aufgesucht. Dabei stellte sich heraus, daß Tiere in einer Liegeboxe mehrere Liegephasen ausführten, ohne zwischendurch die Liegeboxe zu verlassen. Dieses Verhalten wurde besonders für die Kuh Nr. 9 beobachtet. Zur Durchführung von 16 Liegephasen frequentierte sie nur 7 Liegeboxen. Etwa ein Drittel aller Kühe (die Kuh-Nr. 1, 3, 4, 5, 11, 20, 23, 27, 28, 29, 30, 34) wechselten mit jeder Liegephase auch die Liegeboxe. Die niedrigste durchschnittliche Liegephasenlänge (27,8 Minuten) wurde für die Kuh mit der Nr. 12 erfaßt. Die

Tab. 27: Tierspezifische Kennwerte des Liegeverhaltens
im Liegeboxenlaufstall pro Tier und Tag
(39 Kühe, Tier-Liegeplatz-Verhältnis 1:1)

Kuh-Nr.	Gesamtliegezeiten		Individuelle Zahl der Liegephasen; () = Zahl d. frequentierten Liegeboxen		Differenz	Ø Liegephasenlänge in min
	absolut	in % von 24 Std.				
1	503,3	34,6	6	(6)	0	83,9
2	820,0	56,5	9	(7)	2	91,1
3	778,4	54,1	6	(6)	0	129,7
4	554,1	38,5	4	(4)	0	138,5
5	521,5	36,2	9	(9)	0	57,9
6	635,8	44,2	11	(10)	1	57,8
7	559,3	38,8	9	(8)	1	62,1
8	587,2	40,8	12	(8)	4	48,9
9	540,3	37,5	16	(7)	9	33,8
10	525,1	36,5	10	(5)	5	52,5
11	325,6	22,6	6	(6)	0	54,3
12	417,3	29,0	15	(9)	6	27,8
13	586,0	40,7	14	(12)	2	41,9
14	605,7	42,1	10	(8)	2	60,6
15	504,5	35,0	11	(6)	5	45,9
16	510,6	35,5	5	(4)	1	102,1
17	556,4	38,6	10	(8)	2	55,6
18	571,8	39,7	11	(9)	2	52,0
19	514,8	35,6	9(6)*	(5)	1	57,2
20	583,8	40,5	6	(6)	0	97,3
21	714,1	49,6	6	(5)	1	119,0
22	796,0	55,3	9	(8)	1	88,4
23	563,7	39,2	6	(6)	0	94,0
24	1047,3	72,7	14	(8)	6	74,8
25	708,9	49,2	11	(10)	1	64,5
26	625,8	43,5	10	(6)	4	62,6
27	660,9	45,9	6	(6)	0	110,2
28	590,6	41,0	6	(6)	0	98,4
29	876,9	60,9	6	(6)	0	146,2
30	591,4	41,1	7	(7)	0	84,5
31	720,3	50,0	7	(6)	1	102,9
32	567,7	39,4	8	(6)	2	71,0
33	710,6	49,4	10	(9)	1	71,1
34	690,1	47,9	7	(7)	0	98,6
35	537,3	37,3	7	(5)	2	76,8
36	589,2	40,9	11	(8)	3	53,6
37	629,7	43,7	11	(7)	4	57,2
38	697,7	48,5	13	(8)	5	53,7
39	683,8	47,5	5	(4)	1	
Sa.:	24203,5	1680,0	349	(271)	76	3015,2
Mittelwert	620,6	43,0	8,9	(7,0)	1,9	77,3
Minimalw.	325,6	22,6	4	(4)	0	27,8
Maximalw.	1047,3	72,7	16	(12)	4	146,2

*) Kuh Nr. 19 legte sich dreimal am Spaltenboden ab

maximal an diesem Tag aufgetretene durchschnittliche Liegephasenlänge für eine Kuh lag bei 146,2 Minuten (Kuh Nr. 29).

In engem Zusammenhang mit der Quantifizierung des individuellen Liegeverhaltens stehen auch diejenigen Faktoren, die von außen einwirken, und die das Wahlverhalten beim Aufsuchen der Liegeboxen bestimmen können: Abmessungen, Anordnung und Ausführungsart von Liegeboxen, Luftführung im Stall, Tier-Liegeplatzverhältnis, Rangordnung usw.. Aus der Fülle der Einflußfaktoren wurden mit Hilfe des aus der Stereoanalyse vorgegebenen Datentmaterials einige Auswirkungen betrachtet, die sich aus bautechnisch bedingten Faktoren (z.B. Abmessungen, Anordnung und Zahl der Liegeboxen) bei einem Tier-Liegeplatzverhältnis von 1:1 ergaben (Abb. 41).

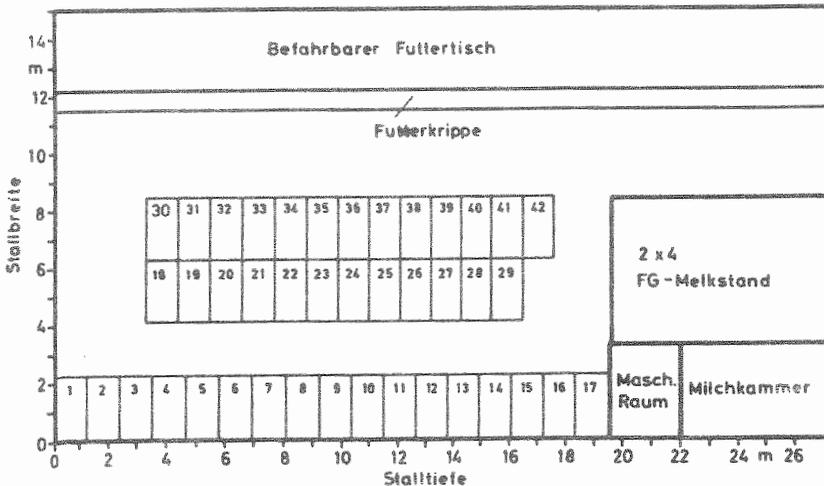


Abb. 41: Anordnung der Liegeboxen im Versuchsstall
(1 - 42 = Boxennummern)

Von den insgesamt 42 Liegeboxen waren während des Versuches die Boxen mit den Nr. 4 - 42 freigegeben. Die 17 Wandliegeboxen wiesen Abmessungen von 1,14 x 2,25 m auf, die Liegeplätze 18 - 42 standen in Form einer gegenständigen Liegeboxenreihe zur Verfügung. Damit waren die Rahmenbedingungen zur Ermittlung boxenspezifischer Kennwerte gegeben (Tab. 28).

Tab. 28: Boxenspezifische Kennwerte beim Aufsuchen der Liegeplätze im Liegeboxenlaufstall pro Boxe und Tag (39 Kühe, Tier-Liegeplatz-Verhältnis 1:1)

Boxen-Nr.	Belegdauer		absolute Zahl der		Ø Dauer einer Belegphase
	insgesamt	in % von 24 Std.	Liegephasen	Boxenfrequenzen	
4	770,4	53,5	6	(5)	154,1
5	746,3	51,8	8	(7)	106,6
6	868,6	60,3	9	(7)	124,1
7	536,1	37,2	9	(6)	89,4
8	863,4	59,9	10	(7)	123,3
9	792,9	55,0	16	(13)	61,0
10	737,8	51,2	11	(9)	82,0
11	378,6	26,3	7	(7)	54,1
12	603,0	41,9	12	(10)	60,3
13	627,1	43,5	10	(9)	69,7
14	605,4	42,0	11	(10)	60,5
15	961,6	66,7	11	(6)	160,3
16	796,5	55,3	9	(5)	159,3
17	152,0	10,6	4	(4)	38,0
18	718,4	49,9	7	(7)	102,6
19	514,0	35,7	8	(6)	85,7
20	787,8	54,7	11	(7)	112,5
21	704,0	48,9	7	(5)	140,8
22	518,3	36,0	7	(5)	103,7
23	782,1	54,3	13	(9)	86,9
24	709,3	49,2	12	(7)	101,3
25	548,5	38,1	5	(3)	182,8
26	429,5	29,8	12	(12)	35,8
27	649,7	45,1	9	(8)	81,2
28	536,8	37,2	7	(6)	89,5
29	706,5	49,0	13	(11)	64,2
30	301,6	20,9	7	(3)	100,5
31	764,1	53,1	11	(9)	84,9
32	506,2	35,1	5	(5)	101,2
33	675,5	46,9	10	(8)	84,4
34	557,5	38,7	9	(7)	79,6
35	485,2	33,7	6	(6)	80,9
36	383,2	26,6	10	(6)	63,9
37	647,2	44,9	11	(5)	129,4
38	479,8	33,3	6	(4)	119,6
39	595,2	41,3	7	(6)	99,2
40	354,4	24,6	5	(4)	88,6
41	299,0	20,7	4	(4)	74,8
42	841,1	58,4	11	(9)	93,5
Summe:	23934,6	1661,3	346	(267)	3730,2
Mittelwert	613,7	42,5	8,9	(6,8)	95,6
Maximalw.	961,6	66,7	16	(13)	182,8
Minimalw.	152,0	10,6	4	(3)	38,0

Als Beurteilungskriterien wurden neben der absoluten und prozentualen Belegdauer pro Tag die absolute Zahl der Liegephasen pro Boxe bzw. die Boxenfrequentierungen sowie die durchschnittliche Dauer einer Belegphase herangezogen. Die Notwendigkeit der Unterscheidung nach absoluter Zahl an Liegephasen und Zahl an Boxenfrequentierungen begründete sich auf der Beobachtung, daß Tiere zum Zwecke des Abkotens oder des Wechsels der Liegeseite kurzzeitig aufstanden und sich anschließend in der gleichen Boxe erneut niederlegten.

Die absolut niedrigste Belegzeit entfiel mit 152,0 Minuten auf die Boxe mit der Nr. 17 (10,6 v.H.), die maximale auf die Boxe 15 mit 961 Minuten (66,7 v.H.). Die beobachteten Belegzeiten aller Liegeboxen betragen durchschnittlich 613,7 Minuten.

Hinsichtlich der absoluten Zahl der Liegephasen fiel auf die Boxe mit der Nr. 17 die minimale Belegungsfrequenz von 4, für die Boxe mit der Nr. 9 wurde eine maximale Frequentierung von 16 ermittelt. Nach der Überprüfung der absoluten Liegephasen auf die tatsächlich vorgenommene Boxenfrequentierung zeigte sich, daß die Boxen mit den Nr. 41 und 28 mit je 3 Liegeabschnitten am wenigsten aufgesucht wurden. Die häufigste Belegung wies die Boxe mit der Nr. 9 (13) auf. Als durchschnittliche Boxenfrequentierung ergab sich ein Wert von 6,8. Die maximale durchschnittliche Dauer einer Belegphase je Boxe wurde in der Boxe mit der Nr. 15 (160,3 Minuten) und 16 (159,3 Minuten) beobachtet. Den geringsten Wert (35,8 Minuten) wies die Boxe mit der Nr. 26 auf. Für alle Boxen ergab sich eine durchschnittliche Belegungsdauer von 95,6 Minuten.

Die im einzelnen für die 39 Boxen registrierten Parameter konnten nach der Zahl der Liegeboxen differenziert werden, so daß sich daraus diejenige Liegeboxenreihe ermitteln ließ, die an diesem Tag am häufigsten frequentiert worden ist (Tab. 29). Die 39 Versuchstiere bevorzugten die Wandliegeboxenreihe. Diese Präferenzen bestätigten sich in allen Kennwerten. An zweiter Position in der Beliebtheitsskala der Ruheplätze rangierte die mittlere Boxenreihe. Sie wies hinsichtlich der ermittelten Zahlenwerte ein ähnliches Niveau auf wie die Wandliegeboxenreihe.

Tabelle 29: Kennwerte für die Boxenbelegungen im Liegeboxenlaufstall pro Tag

Liegeboxenreihe	Wandliegeboxenreihe	mittlere Liegeboxenreihe	Liegeboxenreihe am Freßgitter
Liegeboxennummer	4 - 17	18 - 29	30 - 42
Zahl der abs. Liegephasen pro Liegeboxenreihe	133	111	102
Zahl der \bar{x} Boxenfrequentierung je Liegeboxenreihe	7,5	7,2	5,8
\bar{x} Gesamtbelegdauer einer Boxe innerhalb einer Boxenreihe in Min.	674,3	633,7	530,0
\bar{x} Belegung einer Boxe innerhalb einer Boxenreihe in v.H.	46,8	44,0	36,8
\bar{x} Dauer einer Belegungsphase innerhalb einer Boxenreihe je Boxe in Min.	95,9	98,9	92,3

Die Reihe mit der geringsten Frequentierung war die dem Freßgitter bzw. dem Freßgang zugeordnete. Sie wurde offensichtlich wegen der hohen lokomotorischen Aktivitäten von den Kühen weniger aufgesucht.

7. VERGLEICH DER STEREOANALYSE ZUR RASTER-BILDAUSWERTUNG

Parallel zur Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erfolgte eine versuchs- und auswertetechnisch vereinfachte Bildbewertung - eine Raster-Bildauswertung - (Monobildanalyse) (MARTIN 1980 /33/). Der methodische Unterschied zur photogrammetrischen Bildmessung besteht darin, daß die Standorte von Tieren nicht auf einem Tablett eines x;y-Koordinatendigitalisierers gemessen worden sind, sondern durch Ablesen von vorgegebenen Koordinatenbereichen auf einem Hilfsraster "bewertet" worden sind. Der Vergleich der Ergebnisse soll Aufschluß darüber geben, wie das mit geringerem technischen Aufwand durchgeführte Bewertungsverfahren der Standortbestimmung im Vergleich zur Stereoanalyse einzuschätzen ist.

Für die Auswertung wurde neben einem Projektionsgestell ein Hilfsraster benötigt. Das Bildmaterial, das identisch war mit der linken Meßbildreihe der Bildpaarserie bei der Stereoanalyse, wurde mit einem konstanten Vergrößerungsfaktor auf das Hilfsraster (Abb. 42) projiziert und von einer Auswerteperson interpretiert.

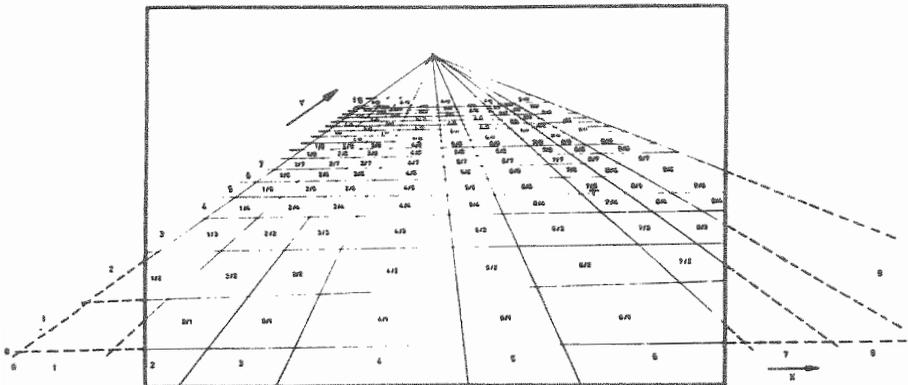


Abbildung 42: Raster zur Auswertung von projizierten Bildvorlagen (Beispiel Liegeboxenlaufstall)

Wenn das Meßbild innerhalb des verstärkt dargestellten Rechteckes projiziert wurde, stellen die horizontalen und vertikal laufenden Linien den möglichen Aufenthaltsraum der Kühe (Liegeboxen, Freßplätze, Laufgänge) dar. Auf der x-Achse war die Stallbreite angegeben, auf der y-Achse die Stalltiefe. Die Abstände 1 - 18 auf der y-Achse entsprachen jeweils der Breite einer Liegeboxe von 1,1 m. Während in den bei der Auswertung auf das Hilfsraster projizierten Bildern das Ablesen der Koordinaten bis zu ca. 18 m Stalltiefe noch durchgeführt werden konnte, ließ die Perspektive und die optische Verzerrung der Bilder in dem dahinterliegenden Bereich die Standortbestimmung nicht mehr zu. Der Melkstand und der seitlich dazu angeordnete Freßbereich bzw. Laufbereich waren deshalb nur als eine Zone mit einer Ausdehnung von 7 m zu identifizieren. Damit schied bei dieser Methode die Standortbestimmung im Melkstand sowie im parallel zum Melkstand angeordneten Freß- bzw. Laufbereich aus.

Bei der Skalierung der x-Achse dienten die Abmessungen der Liegeboxen sowie die des Lauf- und Freßganges als Hilfspunkte. Die Berücksichtigung der z-Koordinate erfolgte bei der Rasterstellung indirekt. Das Raster wurde nicht auf das Niveau des Spaltenbodens angeordnet, sondern entsprechend der durchschnittlichen Widerristhöhe der Kühe auf eine Höhe von 1,3 m gelegt.

Die Bildauswertung konzentrierte sich einerseits auf die Feststellung der Koordinatenpunkte, innerhalb derer sich die Widerriste der Tiere befanden. Gleichzeitig wurden die ausgeführten Aktivitäten nach einem bestimmten Codesystem erfaßt. Nach der Übertragung der in einem Versuchsprotokoll niedergelegten Daten auf eine Rechenanlage waren die Voraussetzungen geschaffen, um dieses Datenmaterial mit den Ergebnissen der Stereoanalyse zu vergleichen.

Als Vergleichskriterium dienen zunächst die Ergebnisse der durchschnittlichen zeitlichen Belegung der verschiedenen Funktionsbereiche (Tab. 30).

Tabelle 30: Durchschnittliche zeitliche Belegung der Funktionsbereiche im Liegeboxenlaufstall nach verschiedenen Auswertemethoden

Funktionsbereich	Verweildauer in Min. bei der	
	Raster-Bildauswertung (n = 5)	Stereoanalyse digit. Bildpaare (n = 39)
Melkstand	25,0	26,1
Laufzonen	263,9	301,6
Liegeboxen (Liegen)	615,2	617,0
Freßgitter	408,4	400,0

Aus zeitlichen Gründen wurden bei der Raster-Bildauswertung nur fünf der 39 Versuchstiere berücksichtigt. Die Ergebnisse beider Verfahren zeigten deutliche Übereinstimmungen bei den Werten für die Aktivitäten in Funktionsbereichen, die in räumlich abgegrenzten Zonen abliefen, z.B. den Liegeboxen (615,2 bzw. 617,0 min), dem Melkstand (25,0 bzw. 26,1 min) oder an den Freßplätzen (408,4 bzw. 400,0 min). Die Resultate für die Aufenthaltsdauer auf den Laufgängen lagen aufgrund der groben Unterteilung des Auswerterasters bei der Rasterbildauswertung mit 37,3 min (12,5 v.H.) deutlich unter dem bei der Stereoanalyse ermitteltem Wert.

Um auch die Möglichkeit der zuverlässigen Erfassung von tier-spezifischen Kriterien zu überprüfen, wurden am Beispiel des Liegeverhaltens die nach beiden Verfahren erzielten Gesamtliegezeiten verglichen (Abb. 43)

Die Ergebnisse zeigten insgesamt ein homogenes Bild. Die geringfügigen Abweichungen für die Kuh Nr. 14, 17, 19 im Bereich von 1 - 6 min bei der Rasterbildauswertung waren durch Rundungsfehler bei der Bildung der Zeitdifferenzen zu erklären. Die Differenz von 14 min bei der Kuh Nr. 33 wurde durch einen Ablesefehler bei der Raster-Bildauswertung verursacht.

Als weiteres Vergleichskriterium ließ sich die Zahl der Liegephasen pro Tier und Tag heranziehen (Abb. 44).

Nur bei zwei Kühen (Kuh Nr. 17 und 33) stimmte die Zahl der

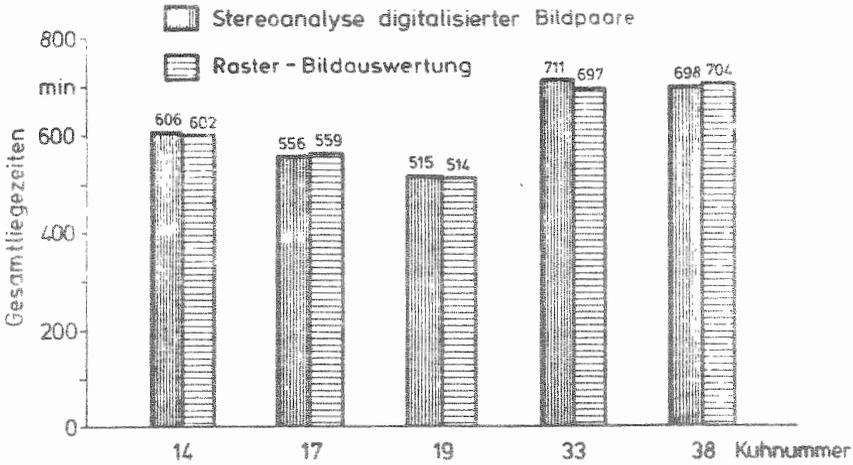


Abb. 43: Reproduzierbarkeit des Kriteriums "Gesamtliegezeit pro Tier und Tag" bei verschiedenen Analysemethoden

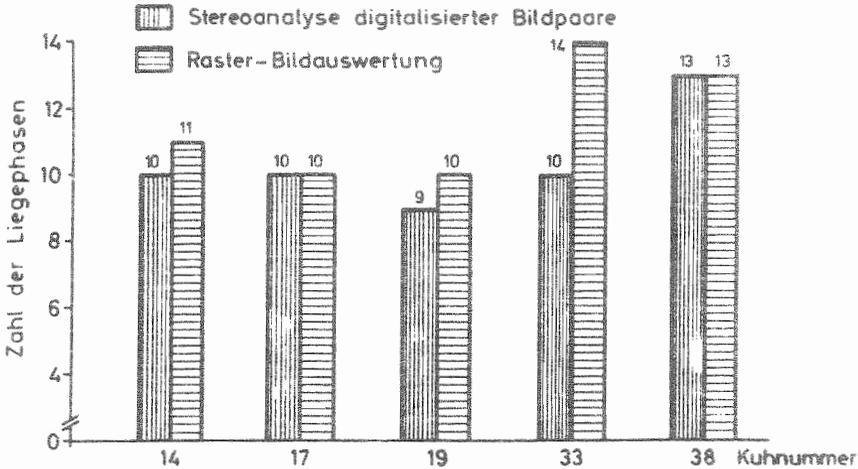


Abb. 44: Reproduzierbarkeit der "Zahl der Liegephasen pro Tier und Tag" nach verschiedenen Analysemethoden

nach zwei unterschiedlichen Verfahren ermittelten Liegephasen überein. Bei der Raster-Bildauswertung wurden im Vergleich zur Stereoanalyse für die Kuh Nr. 14 und 19 jeweils eine weitere Liegephase erfaßt. Für die Kuh Nr. 33 wurden bei der Raster-Bildauswertung vier Liegephasen mehr registriert als bei der Stereoanalyse. Nach der Überprüfung der Ausgangsdaten stellte sich heraus, daß die bei der Raster-Bildauswertung erhöhte Zahl an Liegephasen durch Identifizierungsfehler bei der Zuordnung zu den Liegeboxen zu begründen waren, d.h. es wurden für die Kuh Nr. 33 beispielsweise Liegephasen registriert, die nicht von dieser Kuh, sondern von anderen Tieren ausgeführt worden sind. Diese Gefahr war bei der Stereoanalyse ausgeschlossen, weil die Identifizierung jedes Tieres anhand von zwei Bildern vorgenommen werden konnte.

Die am Beispiel des Liegeverhaltens dargestellten Ergebnisse zeigten, daß mit der technisch weniger aufwendigen Raster-Bildauswertung - in Abhängigkeit von der gewählten Projektionsgröße - Tierpositionen bis zu einer Rauntiefe von ca. 15 bis 18 m zu registrieren waren. Der Vergleich zu den Ergebnissen der Stereoanalyse hat gezeigt, daß bei der Raster-Bildauswertung mit dem Auftreten von Identifizierungsfehlern zu rechnen ist, die die Aussagefähigkeit der Ergebnisse beeinträchtigen können. Bei Rauntiefen von mehr als 18 m war eine gezielte und individuelle Standortbestimmung nicht durchführbar. Die Genauigkeit der Standortbestimmung wurde durch die Koordinatenverteilung des Auswerterrasters vorgegeben. Sie lag im Bereich von 1 m. Der Zeitaufwand für den Bewertungsvorgang, das Festhalten der Informationen in Auswerteprotokollen, der manuell vorzunehmende Datentransfer der Versuchsdaten sowie die Aufbereitung des Datenmaterials lag insgesamt nicht niedriger als bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare.

8. FEHLERANALYSE UND ORGANISATORISCHE BEURTEILUNG

Grundsätzlich ist jedes Meßergebnis mit einem gewissen Fehler behaftet. Die Aussagefähigkeit einer Messung kann jedoch durch die Angabe und Größe des auftretenden Fehlers gefestigt werden. Im Verlauf der Bilderstellung und Bildanalyse sind eine Reihe von möglichen Fehlerquellen systematischer und zufälliger Natur anzuführen, die in den errechneten Positionsangaben der Kühe partiell enthalten sind. Zur objektiven Beurteilung und Einstufung der Methode war es notwendig, das Genauigkeitsniveau konkret an den Ergebnissen des vorliegenden Einsatzfalles im Liegeboxenlaufstall aufzuzeigen und in quantifizierter Form darzustellen.

Darüber hinaus müssen zur Beurteilung sowohl der zeitliche Aufwand als auch die gerätetechnischen Anforderungen bei der Anwendung der Methode berücksichtigt werden.

8.1 Ursachen und Auswirkungen systematischer und zufälliger Fehlerquellen

Systematische und zufällige Fehler werden durch determinierte Funktionsfehler der Aufnahme bzw. Analysegeräte bedingt. Alle Meßwerte sind durch einen Meßfehler gleichbleibender Größe belastet. Die quantitative Beschreibung der Auswirkungen dieser Meßfehler, die summarisch während der einzelnen Stationen der Bilderstellung und Bildanalyse auftraten, erfolgte durch die Ermittlung zweier Gruppen von Kontrollparametern. Erstens die Vertrauensbereiche der x ; y ; z -Raumpunktkoordinaten der Objekte. Sie charakterisierten die gerätetechnischen und bedienungsspezifischen (zufälligen) Fehler, die sich insgesamt während des mathematischen Rekonstruktionsprozesses ergaben. Der zweiten Gruppe waren die Werte für die Unbekannten (Kammerstandorte, Drehwerte und zusätzliche Parameter) zuzuordnen. Diese zeigten Veränderungen an, die sich aus aufnahmetechnischer Sicht während der Bilderstellungsphase eingestellt haben.

Aus der Qualität der eingesetzten Aufnahme- und Meßgeräte ergab sich für die Standortbestimmung bei dem Anwendungsfall "Liegeboxenlaufstall" folgende Ausgangsposition:

- a) Die Bestimmung der Paßpunkte und der Aufnahmeorte im Stall erfolgte mit einem Sekundentheodolit sowie optischer Streckenmessung. Die Koordinaten der Paßpunkte sind mit einem mittleren Fehler von ca. $\pm 0,005$ m in der Lage und ca. $\pm 0,002$ m in der Höhe behaftet. Die Genauigkeit der räumlichen Lage der Aufnahmeorte wurde zu $0,005$ m in jeder Koordinatenrichtung geschätzt.
- b) Die Genauigkeit der Bildkoordinatenmessung im vergrößerten, projizierten Bild mit dem x;y-Koordinatendigitalisierer wurde mit einem mittleren Fehler von $\pm 0,1 - 0,2$ mm veranschlagt.
- c) Die bei der Bilderstellung verwendeten Objektive wiesen eine Brennweite von 24 mm auf. Prinzipiell können Objektive verschiedener Brennweiten eingesetzt werden, weil der betreffende Wert im Auswerteprogramm Berücksichtigung findet.
- d) Aus der Anordnung der Meßkammern im Stall resultierte eine graduell unterschiedliche Genauigkeit, die sich im Hintergrund stärker auswirkte als im vorderen Bereich des Stalles.

Eine grobe Abschätzung der erzielbaren Genauigkeit bei der mathematischen Rekonstruktion von Objektpunkten auf der Basis der Bündellösung kann mit Hilfe der Beziehung

$$m_y = \frac{y^2}{b \cdot c} \quad . \quad m_{px}/v = \frac{y^2 \cdot m_{px}}{(b \cdot c \cdot v)} \quad *)$$

erfolgen.

*) = Diese Formel gilt allerdings nur unter den folgenden Voraussetzungen:

c = fehlerfrei bekannt

b = fehlerfrei bekannt

ω, ρ, k = \emptyset (sogenannter Normalfall)

v = Vergrößerungsfaktor

Dabei entspricht:

- m_y = Genauigkeit der y-Koordinate (mittlerer Fehler)
- y = Entfernung des betreffenden Punktes von den Aufnahmeorten
- b = Basis
- c = Kammerkonstante
- m_{px} = Parallaxenmeßgenauigkeit
- v = Vergrößerungsfaktor am Tablett

Mit dieser mathematischen Beziehung kann das erzielbare Genauigkeitsniveau bei der y-Standortkoordinatenbestimmung im Liegeboxenlaufstall grob prognostiziert werden, wenn von dem sogenannten "Normalfall" ausgegangen wird ($\omega, \varphi, \kappa = 0$). Dabei wird nur die Genauigkeit der y-Koordinate beurteilt, die aufgrund der vorliegenden Aufnahmegeometrie am wenigsten genau erhalten wird. Zugleich ist zu erkennen, daß der Fehler in y-Richtung quadratisch mit der Entfernung y zunimmt (Tab. 31).

Tabelle 31: Berechnung des geschätzten Fehleranteils bei der y-Standortkoordinatenbestimmung im Liegeboxenlaufstall (Normalfall)

Bezeichnung	Symbol	Beispielberechnung
Entfernung des betreffenden Punktes von den Aufnahmeorten	y	27,0 m
Basis	b	1,69 m
Kammerkonstante	c	0,024 m
Parallaxenmeßgenauigkeit des x;y-Koordinatendigitalisierers	m_{px}	0,0002 m
Vergrößerungsfaktor am Tablett (Bildmaßstab)	v	12-fach

$$\text{Ausgangsgleichung: } m_y = \frac{y^2}{b \times c} \times m_{px} / v = \frac{729}{1,69 \times 0,024} \times \frac{0,0002}{12} = 30 \text{ cm}$$

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen, die relativ stark vom Normalfall abweichen ($\omega \neq 0, \varphi \neq 0$) kann die obige Abschätzung nur ein Richtwert sein.

Bei der tatsächlichen Rekonstruktion des Aufnahmevorganges durch den Bündelansatz werden als flankierende Maßnahmen die Beobachtungen für die Aufnahmeorte und die Drehwerte mit ihren Genauigkeitseigenschaften in der Ausgangsgleichung berücksichtigt. Desgleichen wurden die Paßpunktkoordinaten als Beobachtungen mit ihrer geschätzten, begrenzten Genauigkeit eingeführt.

Das anhand von 6 995 digitalisierten Tierpositionen ermittelte Genauigkeitsniveau bei der Standortanalyse der Kühe im Liegeboxenlaufstall wird durch die Vertrauensbereiche repräsentiert (Abb. 45).

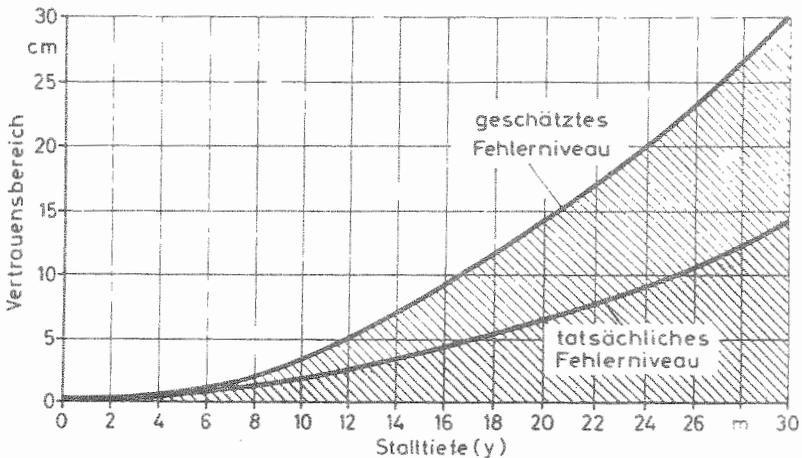


Abbildung 45: Mittlere Fehlerbelastung der y-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall in Abhängigkeit von der Stalltiefe ($b = 1,7 \text{ m}$)

Die Vertrauensbereiche charakterisieren die Schwankungsbreite der betreffenden Unbekannten bei einem vorgegebenen statistischen Signifikanzniveau. Für alle nachfolgenden Überlegungen und Darstellungen gilt ein Signifikanzniveau von 95 v.H.. Das tatsächlich erreichte Genauigkeitsniveau der y-Standortkoordinaten war im Vergleich zum geschätzten Fehlerniveau

gleichmäßig über die gesamte Raumtiefe um etwa die Hälfte reduziert. Während im unmittelbaren Meßbereich des Aufnahmefeldes (1 - 2 m vor den Meßkammern) die mittlere Fehlerbelastung der y-Koordinatenpunkte unter der Grenze von ± 1 cm lag (0,06 cm), erhöhte sich der mittlere Fehler bei maximaler Stalltiefe von 27 m auf $\pm 12,5$ cm.

Analog der Fehlerermittlung bei den digitalisierten y-Koordinatenwerten konnte eine ähnliche Fehlerberechnung für die digitalisierten x-Koordinatenwerte vorgenommen werden. Die angesprochenen Fehlerquellen mußten sich bei den y-Koordinatenpunkten ab einer bestimmten Entfernung massiver auswirken als bei den x-Koordinatenwerten, da dies durch die Geometrie der Aufnahmedispositionen bedingt war (Abb. 46).

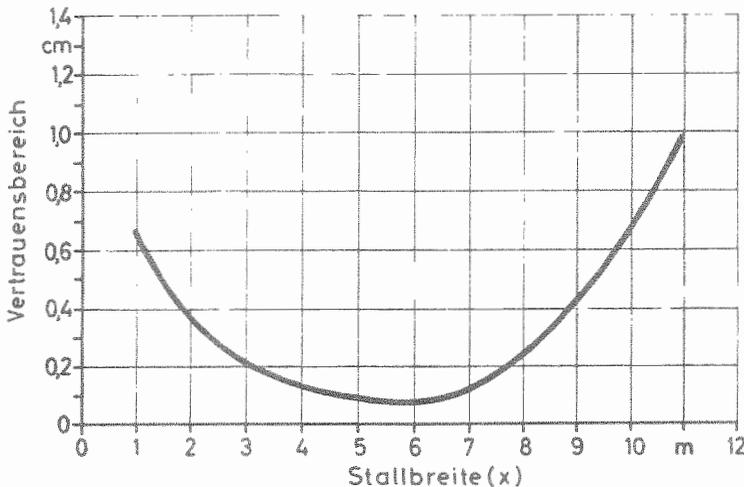


Abbildung 46: Mittlere Fehlerbelastung der x-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall in Abhängigkeit von der Stallbreite ($b = 1,7$ m)

Die ermittelten Vertrauensbereiche für die 6 995 digitalisierten x-Koordinatenwerte lagen bei der maximal möglichen Stallbreite von 11,5 m insgesamt unterhalb der Grenze von ± 1 cm. Im zentralen Meßbereich von ca. 5 m auf der x-Achse unmittelbar

vor den Standorten der Meßkammern reduzierte sich der Fehler auf weniger als 0,2 cm, während die Vertrauensbereiche zu den Randzonen hin geringfügig anstiegen. Insgesamt gesehen konnte jedoch dieser Fehler der x-Koordinatenwerte vernachlässigt werden.

Die z-Koordinate, die bei den Standortort- und Aktivitätsanalysen im Liegeboxenlaufstall nicht berücksichtigt wurde, ist bei anders gelagerten Anwendungsfällen als eine Dimension mit primärer Bedeutung einzustufen. Im vorliegenden Fall kann sie zur Ermittlung der Widerristhöhe herangezogen werden, wenn sich die Tiere bei der Messung auf vergleichbarem Niveau befinden. Die Genauigkeit der rekonstruierten z-Koordinaten lag bei 0 - 5 cm.

Ein weiteres Beurteilungskriterium der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare ergab sich aus der Durchführung einer Häufigkeitsanalyse hinsichtlich der Vertrauensbereiche der rekonstruierten x;y;z-Koordinatenwerte (Tab. 32).

Nahezu 99 v.H. der resultierenden Vertrauensbereichsangaben für die x-Werte lagen im Bereich von 0 - 5 cm. Eine ähnliche Situation war bei der Betrachtung der z-Koordinatenwerte festzustellen.

Trotz der maximal auftretenden Raumtiefe von 27,2 m konnten 73,3 v.H. aller y-Koordinatenwerte im gesamten Stallraum mit einem Vertrauensbereich von 0 - 5 cm digitalisiert werden. 15,9 v.H. der ermittelten Tierpositionen wiesen Vertrauensbereiche von 5 - 10 cm auf, 5,6 v.H. aller Meßwerte waren mit Vertrauensbereichen von 10 - 15 cm behaftet. 5,2 v.H. aller digitalisierten y-Standortkoordinaten wurden mit einem Vertrauensbereich, der größer als 15 cm war, ermittelt.

Aus dem Prozeß der mathematischen Analyse des digitalisierten Bildmaterials resultierten individuell für jedes einzelne Bildpaar ausgeglichene Koordinatenwerte, die im einzelnen die geometrische Situation bei der Bilderstellung charakterisierten. Konstante Werte für die Koordinaten der Aufnahmeorte und die Kammerdrehungen über eine längere Aufnahmeperiode deuteten

Tabelle 32: Häufigkeitsanalyse der Vertrauensbereiche für die x;y;z-Koordinatenwerte bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall

Vertrauensbereich für Koordinate	Bereich in cm	Häufigkeit		Summenhäufigkeit relativ in v. H.
		absolut	relativ in v.H.	
x	0 - 5	6921	98,94	98,94
	5 - 10	70	1,00	99,94
	10 - 15	0	0,00	99,94
	15 - 20	3	0,04	99,98
	20 - 25	1	0,01	99,99*)
			<u>99,99*)</u>	
y	0 - 5	5126	73,28	73,28
	5 - 10	1112	15,90	89,18
	10 - 15	391	5,59	94,77
	15 - 20	168	2,40	87,17
	20 - 25	102	1,46	98,63
	25 - 30	53	0,76	99,39
	30 - 35	28	0,40	99,79
	35 - 40	10	0,14	99,93
	40 - 45	2	0,03	99,96
	45 - 50	1	0,01	99,97
	50 - 55	0	0,00	99,97*)
	55 - 60	1	0,01	99,98*)
	60 - 65	1	0,01	<u>99,99*)</u>
			<u>99,99*)</u>	
z	0 - 5	6980	99,79	99,79
	5 - 10	10	0,14	99,93
	10 - 15	1	0,01	99,94
	15 - 20	3	0,04	99,98*)
	20 - 25	1	0,01	<u>99,99*)</u>
			<u>99,99*)</u>	

*) = Rundungsfehler

n = 6 995, 39 Kühe, 24 Std. Versuchsdauer

darauf hin, daß die Fixierung der Kammern am Aufnahmeort als ausreichend stabil zu betrachten war. Plötzlich auftretende Abweichungen von einem Bild zum folgenden ließen darauf schließen, daß sich durch äußere Einflüsse eine Lageveränderung einer bzw. beider Nicht-Meßkammern ergeben hat (z.B. beim Wechsel der Ansatzmagazine). Anhand der ermittelten bildspezifischen Kontrollparameter (ausgeglichene Werte für die Unbekannten) konnte eine Beurteilung erfolgen, inwieweit die einzelnen Werte über die gesamte Aufnahmeperiode konstant geblieben waren bzw. in welcher Größenordnung sich eine Veränderung eingestellt hatte.

Zur Klärung dieses Sachverhaltes wurden aus der ersten vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode zwei Aufnahmeabschnitte (13.30 - 14.30 Uhr und 4.30 - 5.30 Uhr) mit je 30 bzw. 42 Bildpaaren herangezogen. Aus der Mittelwertbildung aller 18 Kontrollparameter ergaben sich Anhaltspunkte hinsichtlich der tatsächlichen Aufnahmeverhältnisse während einer vierzehnstündigen Aufnahmeperiode (Tab. 33).

Neben den 12 Mittelwerten der ausgeglichenen Werte für die Kammerlagerung und Orientierung werden die zugehörigen Standardabweichungen angeführt, die parallel zur Berechnung der Werte im Rahmen des Ausgleichsprozesses ermittelt worden sind. Während des vierzehnstündigen Intervalls zwischen den beiden Vergleichsperioden ergaben sich für die Koordinaten der Aufnahmeorte nur sehr geringe Abweichungen im Bereich von 1 - 3 cm. Verändert haben sich die Drehwerte der Kammern um Beträge, die maximal 1 gon abweichen. Das Genauigkeitsniveau der Koordinaten des Aufnahmeortes und der Kammerdrehungen bleibt für den ganzen Zeitraum praktisch erhalten. Es ist nicht zuletzt abhängig von der Anzahl und Verteilung der digitalisierten Punkte im Stereomodell.

Die ermittelten Ergebnisse innerhalb der Vergleichsperiode, die sich zeitlich auf die Mitte und das Ende der vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode bezogen, deuteten darauf hin, daß die Anbringung der Kammern am Aufnahmeort unter den gegebenen Rahmenbedingungen als ausreichend stabil zu betrachten war. Trotz einer sehr sorgfältigen Arbeitsweise waren durch Vibrationen der Reihenbildkammern bei der Bildauslösung und durch den Vorgang des Magazinwechsels geringfügige Abweichungen nicht zu verhindern. Die gleichbleibende Genauigkeit der Punktbestimmung bei der Bildanalyse zeigte jedoch, daß die minimalen Abweichungen durch das Rechenprogramm STERDI vollkommen zu kompensieren waren.

Tabelle 33: Entwicklung der ausgeglichenen Näherungswerte (Koordinaten der Aufnahmeorte, Kammerdrehungen) während einer vierzehnstündigen Aufnahmeperiode (540 Bildpaare)

Nr. des Näherungswertes	Symbol	Bezeichnung	Ø absolute Werte	Ø absolute Werte	Differenz	Ø Genauigkeitswerte (Standardabweich.)	
			13.30-14.30	4.30-5.30		13.30-14.30	4.30-5.30
1	x_0	linke Kammer	4,26 m	4,27 m	0,01 m	0,01 m	0,01 m
2	Δx_0	rechte Kammer (Basis)	1,72 m	1,72 m	0,00 m	0,01 m	0,01 m
3	y_0	linke Kammer	-3,28 m	-3,26 m	-0,02 m	0,02 m	0,03 m
4	Δy_0	rechte Kammer	0,21 m	0,18 m	0,03 m	0,02 m	0,03 m
5	z_0	linke Kammer	4,20 m	4,19 m	0,01 m	0,01 m	0,01 m
6	Δz_0	rechte Kammer	-0,13 m	-0,11 m	-0,02 m	0,01 m	0,02 m
7	ρ_0	linke Kammer	-5,50 gon	-4,51 gon	-0,99 gon	0,26 gon	0,34 gon
8	$\Delta \rho_0$	rechte Kammer	8,66 gon	7,78 gon	0,88 gon	0,26 gon	0,35 gon
9	ω_0	linke Kammer	83,25 gon	83,10 gon	0,15 gon	0,33 gon	0,44 gon
10	$\Delta \omega_0$	rechte Kammer	-4,76 gon	-4,40 gon	-0,36 gon	0,35 gon	0,46 gon
11	χ_0	linke Kammer	-7,11 gon	-7,83 gon	-0,72 gon	0,26 gon	0,34 gon
12	$\Delta \chi_0$	rechte Kammer	8,61 gon	9,73 gon	1,12 gon	0,26 gon	0,34 gon

8.2 Zufällige Fehlerquellen beim Digitalisierprozeß

Als zufällige Fehler werden jene bezeichnet, die nicht kompensierbar sind, da sie bei jedem Meßvorgang unterschiedlich ausfallen. Dieser Fehlerkategorie müssen Fehler zugeordnet werden, die sich aus menschlichen Unzulänglichkeiten bei der Durchführung bestimmter Tätigkeiten ergeben. Bei der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare konnten personenspezifische Fehler während folgender Stationen auftreten:

- Bei der Steuerung der Bildaufnahmezeitpunkte
- Bei der Selektion der zu digitalisierenden Bildpunkte
- Beim Digitalisieren der Tierpositionen in den projizierten Bildpaaren auf dem Meßtablett

Der manuellen Bildauslösung zur Steuerung der Aufnahmefolge im Stall durch eine in der Tierbeobachtung erfahrene Person wurde der Vorzug gegeben, obwohl eine automatische, intervallmäßige Bildsteuerung möglich war. Dafür waren zwei Gründe verantwortlich. Aus der Neuartigkeit der Methode zur Aufzeichnung und Quantifizierung des Tierverhaltens resultierte die Tatsache, daß abgesicherte Erfahrungswerte für die Auslöseintervalle z.Zt. der Versuchsanstellung nicht verfügbar waren. Gründe dafür sind schnell wechselnde, vielschichtige Verhaltensabläufe, die sich in einer zahlenmäßig großen Herde von beispielsweise 39 Kühen zu einer Vielzahl von auslösewürdigen Momenten aufaddieren. Nur der menschliche Beobachter ist daher zunächst in der Lage, alle ablaufenden Handlungen flexibel zu koordinieren und dabei die verschiedenen relevanten Situationen vollständig photographisch zu dokumentieren. Die bisherigen Erfahrungen mit der personenbezogenen Bildsteuerung und die Ergebnisse der Bildanalyse der ersten vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode haben gezeigt, daß diese Art der Bildsteuerung das Tierverhalten vollständig erfassen konnte.

Die mögliche Mehrfachdigitalisierung von Bildpunkten bei unveränderten Standorten und Aktivitäten nacheinander in mehreren Bildpaaren wurde durch das Programm ZEIDIFS eliminiert. Die Notwendigkeit dieser Maßnahme konnte durch die Ergebnisse der ersten vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode begründet werden (Tab. 34).

Tabelle 34: Zahl der Mehrfachdigitalisierung gleicher Standorte und/oder Aktivitätscodes während eines vierundzwanzigstündigen Bildanalyseprozesses (39 Kühe)

Kriterium	Summe	Ø Zahl pro Tier	Minimalwert	Maximalwert
Zahl d. digitalisierten Ereignisse	6995	179,4	69 (Kuh Nr.1)	311 (Kuh Nr.12)
Zahl d. Ereignisse nach Bearbeitung mit ZEIDIFS	6517	167,1	59	295
Zahl der aus-sortierten Ereignisse	478	12,3	7 (Kuh Nr.4,9,22,38,39)	20 (Kuh Nr.36)

Insgesamt wurden für die 39 Kühe während der vierundzwanzigstündigen Periode 6 995 Ereignisse digitalisiert. Nach der Bearbeitung der 39 kuhspezifischen Dateien mit ZEIDIFS konnte die Zahl der tatsächlich als Standort- und Aktivitätsveränderungen zu deklarierenden Ereignisse um 478 auf 6 517 reduziert werden. Bei insgesamt 179,4 pro Tier und Tag erfaßten Ereignissen ergaben sich durchschnittlich 12,3 Ereignisse als Mehrfachdigitalisierungen gleicher Standorte oder Aktivitäten. Der Interpretationsfehler im Rahmen der Selektion der Bildpunkte lag größenordnungsmäßig im Bereich von 7 v.H.. Er ist partiell sowohl der Arbeitsqualität des Auswerteteams als auch dem Auswertungsmodus anzulasten und kann durch eine veränderte Analysestruktur minimiert werden.

In der Phase der Digitalisierung der Bildkoordinaten wurde von der Bedienungsperson ein Fehleranteil verursacht, der sich beim Antippen der Widerriste als Meßpunkte auf dem Meßtablett mit dem Fadenkreuzcursor ergab. Gerade bei der Digitalisierung von Bildpaaren kommt es darauf an, die Widerriste der Kühe als Meßpunkt auf beiden Bildern eines Bildpaares möglichst identisch zu erfassen. Es muß jedoch davon ausgegangen werden, daß bei routinemäßigen Auswertearbeiten ein exaktes, kontinuierliches Digitalisieren des homologen Punktes auf beiden

Meßbildern besonders im hinteren Bereich der zu analysierenden Bildpaare nicht vorausgesetzt werden kann. Ein Fehler bei der Digitalisierung homologer Bildpunkte drückte sich im Programm STERDI zunächst in der ermittelten Standardabweichung der Bildkoordinaten aus. Auch konnte bei großen Digitalisierfehlern die Zahl der Iterationen ansteigen, was sich in einer erhöhten Rechenzeit pro Bildpaar bemerkbar machte. Ein Überschreiten der vorgegebenen Iterationsgrenze führte zum Abbruch des Auswertungsprozesses. Trat dieser Fall auf, so mußte davon ausgegangen werden, daß eine oder auch mehrere digitalisierte Positionen eines oder mehrerer Bildpunkte mit sehr großen Ungenauigkeiten digitalisiert worden sind, die vom Auswerteprogramm im Rahmen des mathematischen Rekonstruktionsprozesses nicht mehr zu kompensieren waren. Während der ersten praktischen Durchführung der Bildanalyse reichten in der Regel fünf bis sechs Iterationen aus.

Die bisherige Digitalisierpraxis hat gezeigt, daß die exakte Bereitstellung von homologen $x;y$ - bzw. $x'y'$ -Meßpunkten für jeweils ein Meßobjekt nach einer Einarbeitungszeit (ca. fünf bis sechs Stunden) von allen Bedienungspersonen mit hoher Präzision vorgenommen werden konnte. Die Häufigkeit des Auftretens von Fehldigitalisierungen wurde im starken Maße von der Konzentrationsfähigkeit der Auswerteperson beeinflusst. Es sollten deshalb Digitalisierperioden von etwa eineinhalb bis zwei Stunden nicht überschritten werden, da eine ununterbrochene Digitalisiertätigkeit von mehr als zwei Stunden die Fehlerquote erheblich ansteigen ließ. Bei der mathematischen Analyse des digitalisierten Bildmaterials der ersten vierundzwanzigstündigen Periode wurden pro Stunde etwa zwei bis vier Bildpaare nicht ausgewertet. Das erneute Digitalisieren dieser Bildpaare wurde erleichtert, weil bei der Bildinterpretation die digitalisierten Tiernummern und Tieraktivitäten jeden Bildpaares schriftlich fixiert wurden.

8.3 Zeitbedarf für die Methode

Die aus der praktischen Anwendung der Methode gewonnenen Erfahrungen lassen eine grobe Abschätzung des erforderlichen Zeitaufwandes für die einzelnen Stationen zu (Tab. 35).

Tabelle 35: Kalkulation des Zeitbedarfs bei der Anwendung der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall

	Schritt	erforderl. Zeitaufwand () = Zahl der Personen
Bilder- stellung	- Erstellung des Aufnahme- megerüstes - Anbringung und Einrich- tung der Aufnahmesyste- me am Aufnahmeort	ca. 8 - 10 Stunden (3)
	- Anbringung des Paßpunkt- systems	ca. 2 - 4 Stunden (3)
	- Einmessung der Aufnahme- orte und d.Paßpunktsy- stems	ca. 4 - 6 Stunden (2)
	- Markierung der Ver- suchstiere	2 x je 2 Stunden (2)
Bild- analyse	- Interpretation- u.Digi- talisiervorgang pro Bildpaar (ohne mathem. Transformationsprozeß und Korrekturen)	Ø 6,7 Minuten Minimalwert: 3 Min. Maximalwert: 24 Min. (1)

Der zeitliche Aufwand für die Erstellung der Bildpaare war im Vergleich zum Digitalisiervorgang des vorliegenden Bildmaterials zu vernachlässigen. Denn bei einem durchschnittlichen Zeitaufwand von ca. 6,7 Minuten für die Interpretation und Digitalisierung eines Bildpaares wurden für die Bearbeitung von neun Bildpaaren ein Zeitanspruch von ca. einer Stunde ermittelt. Die Digitalisierung der 937 in die Auswertung einbezogenen Bildpaare beanspruchte damit ca. 105 Stunden. Dieser Wert enthält jedoch nicht die Rüstzeiten zur Erstellung der Betriebsbereitschaft des Bildanalyzesystems.

8.4 Kalkulation des gerätetechnischen Aufwands

Die Erstellung und Auswertung von Bildpaaren im Rahmen der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare erforderte die Bereitstellung einer umfangreichen gerätetechnischen Grundausstattung. Zur beispielhaften Erläuterung des gerätetechnischen Aufwands konnte die Anwendungsalternative "Liegeboxenlaufstall" dienen (Tab. 36).

Tabelle 36: Gerätetechnischer Aufwand bei der Anwendung der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare im Liegeboxenlaufstall

	Bezeichnung der Geräte	finanz. Aufwendungen Stand: 1981	Bemerkungen
Bilderstellung	Theodolit	ca. 6 000 DM	geliehen
	2 Reihenbildkammern m. Steuergerät u. 4 Ansatzmagazinen à 30 m	ca. 21 000 DM	gehört zum gerätetechnischen Inventar des Institutes
	Analoguhr	ca. 300 DM	
Bildanalyse	Minicomputer (64 k-Byte)	ca. 40 000 DM	
	x;y-Koordinatendigitalisierer	ca. 8 000 DM	
	MeStablett 102 x 76 cm	ca. 10 000 DM	
	Auswertegestell mit Doppelprojektions-einheit	ca. 5 000 DM	in institutseigener Werkstatt angefertigt
	Summe:	ca. 90 300 DM	

Ein gravierender Kostenblock entstand im Rahmen der Bilderstellung aus der Verwendung von zwei Reihenbildkammern mit entsprechend großen Ansatzmagazinen. Die Anschaffung aller Bestandteile des Bildanalyse-systems würde Kosten von etwa 63 000 DM verursachen. Im vorliegenden Fall war der überwiegende Teil der Einzelelemente für die Bilderstellung und die Bildanalyse bereits in institutseigenem Geräteinventar vorhanden,

so daß lediglich die Anschaffung eines größeren Meßtablettes und die Erstellung des Auswertegestelles erforderlich waren. Die Heranziehung spezieller photogrammetrischer Aufnahme- und Analysegeräte wie beispielsweise von Stereomeßkammern und -komparatoren, würden dagegen finanzielle Aufwendungen von mehreren hunderttausend Mark' erfordern.

9. ALTERNATIVEN ZUR OPTIMIERUNG DES VERFAHRENS DER STEREO- ANALYSE DIGITALISierterer BILDPAARE

Der am Beispiel des Liegeboxenlaufstalles vorgestellte Verlauf der Bilderstellung und Bildanalyse hat gezeigt, daß mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare die simultane Standort- und Aktivitätsanalyse einer Kuhherde im Liegeboxenlaufstall als Basis der Quantifizierung des Tierverhaltens zufriedenstellend verwirklicht werden konnte. Bei Beachtung der dargelegten verfahrenstechnischen Grundlagen ist gewährleistet, daß dieses Verfahren auch unabhängig von der speziellen Anwendung im Liegeboxenlaufstall genutzt werden kann, wenn von anderen räumlichen Verhältnissen, differenzierten Meßobjekten und anderen fachspezifischen Fragestellungen auszugehen ist. Die Anwendung dieser Methode im Liegeboxenlaufstall hat jedoch zugleich Ansatzpunkte für Verbesserungsmaßnahmen offengelegt, die einerseits den Vorgang der Bilderstellung und -analyse betreffen, andererseits aber auch Änderungen der Programmstruktur notwendig erscheinen lassen. Die Verbesserungsmaßnahmen sollten unter Beachtung folgender Zielsetzung vorgenommen werden:

- Gerätetechnische Vereinfachungen
- Reduzierung des Zeitaufwandes
- Steigerung des zu erzielenden Informationsgehaltes

9.1 Gerätetechnische Vereinfachungen

Zur Vereinfachung der Methode bieten sich drei Maßnahmen an:

- Einmessung des Paßpunkt-Koordinatensystems mit Hilfe einfacher Vermessungsgeräte
- Verwendung einer Digitaluhr bei der Bilderstellung
- Automatische Digitalisierung

Das Vermessen des Paßpunktsystems und die Einmessung der Aufnahmeorte erfolgte bisher mit einem Theodolit durch Vermessungsspezialisten. Die Strecken zwischen den Paßpunkten bzw. den Paßpunkten und den Aufnahmeorten könnten jedoch auch mit einem Maßband eingemessen werden (Abb. 47).

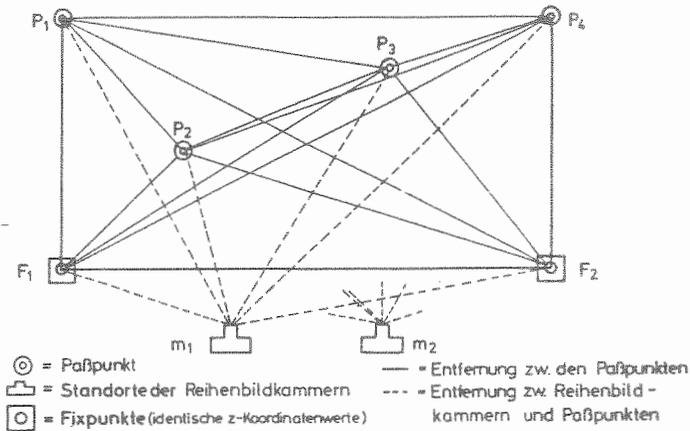


Abbildung 47: Schema zur manuellen Einmessung der Paßpunkt-koordinaten und der Aufnahmeorte

Als Bezugspunkt dienen dabei zwei Fixpunkte (F_1 und F_2), die gleichermaßen auch zwei Paßpunkte darstellen können. Die Festsetzung der Punkte sollte nach Möglichkeit so getroffen werden, daß diese zueinander und mit den jeweiligen Paßpunkten (P_1 und P_4) einen rechten Winkel bilden. Neben der Einmessung dieser Strecken soll die Höhe der Punkte P_1, P_2, P_3, P_4 und wenn möglich von m_1 und m_2 in Bezug auf F_1 bzw. F_2 bestimmt werden. Der photogrammetrisch nicht geschulte Versuchsansteller wird damit in die Lage versetzt, selbständig und ohne Inanspruchnahme spezieller Vermessungsgeräte die Vermessungsarbeiten vorzunehmen.

Der Austausch der Analoguhr durch eine Digitaluhr erleichtert in der Phase der Bildanalyse die Zuordnung der Einzelbilder zu Bildpaaren und trägt zu einer zuverlässigen Feststellung des Aufnahmezeitpunktes bei.

Die manuelle Digitalisierung des Bildmaterials verursacht einen erheblichen Zeitaufwand (vgl. 8.3). Der technische Fortschritt auf dem Gebiet der digitalen Bildverarbeitung hat jedoch zur Entwicklung verschiedener automatischer Bildaufnahme- und Bildwiedergabesysteme geführt (Tab. 37).

Tabelle 37: Übersicht über verschiedene Bildaufnahme- und Bildwiedergabesysteme (nach SAACKEL 1981 /45/)

Bildaufnahmesysteme:

	Örtl. Auflö- sungsvermögen	Örtliche Inhomogeni- tät	Graustufen- auflösung	Relative Emp- findlichkeit	Abtastzeit pro Bild- punkt
Plumbicon	800x 640	3 %	32	0,5	100 nsec
Vidicon	800x 540	3 %	32	0,2	100 nsec
Multidoden Vidicon	700x 640	10 %	10	1	100 nsec
CCD	320x 512	5 %	20	1	100 nsec
Image Dissector	2000x2000	5 %	20	0,02	125 sec
Flying Spot	4000x4000	(1-2 %)	64	-	1 sec
Scanning Tisch	theoreth.	-	256	-	20 msec

Bildwiedergabesysteme:

	TV-Monitor	Scanning- Tisch als Wiedergabe- gerät	Micro-Spot (Linien- schreiber)	Flying-Spot
Örtl. Auf- lösungsver- mögen	800 x 600	-	700 BPK/Zeile	4000 x 4000
Graustufen- auflösung	32	256	100	64
Wiedergabe- zeit pro Bildpunkt	100 ns	20 ms	20 s	1 s
Verzeich- nungen	ca. 5 %	keine	ca. 1 % mit Korrektur	ca. 2 % mit Korrektur

Allgemein ist zu bemerken, daß die Mehrzahl der Bilderfassungssysteme die Bildvorlagen mit zweidimensionaler Intensitätsverteilung zeilen- bzw. bildpunktmäßig abtasten. Wichtige, system-spezifische Beurteilungskriterien, sowohl bei der Bildaufnahme als auch bei der Bildwiedergabe, sind

- örtliches Auflösungsvermögen
- Graustufenauflösung
- Empfindlichkeit
- Abtastzeit

der verschiedenen Alternativen (SAACKEL 1981 /45/).

Aus den angeführten Gerätealternativen wären für die Aufbereitung des vorliegenden Bildmaterials besonders die Scanning-Systeme anzuführen, deren Funktionstüchtigkeit für den vorliegenden Anwendungsfall jedoch erst in einem praktischen Einsatz getestet werden müßten. Dieses Vorhabens scheitert jedoch an den extrem hohen Investitionskosten von ca. 500 000 DM, die die Anschaffung dieses Systems verursachen würde. Weitere Entwicklungen auf diesem Gebiet werden in Zukunft dazu führen, daß die angesprochenen Techniken zu günstigeren Preisen auf dem Markt angeboten werden können.

Es würde jedoch den Rahmen dieser Arbeit sprengen, die einzelnen Systeme auf ihre Brauchbarkeit zur Tierbeobachtung zu behandeln.

9.2. Maßnahmen zur Reduzierung des Zeitaufwandes

Die Möglichkeiten zur Beschleunigung des Verfahrens müssen sich aufgrund des hohen Zeitaufwandes besonders auf den Sektor der Bildanalyse konzentrieren. Dafür bieten sich folgende Maßnahmen an:

1. Beim Digitalisierprozeß:
 - Einzeltierbetrachtung
 - Automatisierung des Filmtransportes
2. Beim mathematischen Analyseprozeß:
 - Näherungswert-Fortschreibung
 - Verkürzung der Rechenzeit

Bei der bisherigen Auswertungspraxis wurden in einem Bildpaar jeweils alle standort- und/oder aktivitätsverändernden Meßobjekte berücksichtigt. Der mit der Selektion der entsprechenden Bildpunkte verbundene Interpretationsaufwand läßt sich reduzieren, wenn jeweils nur ein einzelnes Tier kontinuierlich über die gesamte Auswerteperiode betrachtet wird. Damit kann das zeitaufwendige Identifizieren derjenigen Tiere, die gerade eine Standort- und/oder Aktivitätsveränderung vorgenommen haben, erleichtert werden, weil die Auswerteperson in den aufeinanderfolgenden Bildpaaren die jeweilige Kuh ohne Zeitverlust fortlaufend lokalisieren bzw. deren Aktivitätsstatus bestimmen kann. Es muß jedoch darauf hingewiesen werden, daß auch bei der Digitalisierung von nur einem Meßobjekt auf die Paßpunkteingabe nicht vollständig verzichtet werden kann, so daß daraus ein zusätzlicher Zeitaufwand zu erwarten ist. Allerdings besteht die Möglichkeit, durch Änderung des Programmkonzeptes STERDI, die Zahl der einzugebenden Paßpunkte auf einen oder zwei zu beschränken.

Eine weitere Konsequenz aus dem Übergang von der Herdendigitalisierung zur Einzeltierdigitalisierung ist in der Reduzierung möglicher Mehrfachdigitalisierungen zu sehen.

Der zeitliche Gewinn aus der Einzeltierverfolgung ist jedoch nur dann zu erreichen, wenn der Transport der Filmrollen nicht mehr manuell, sondern automatisch vorgenommen werden kann. Während bei der Herdendigitalisierung das gesamte Filmmaterial unabhängig von der Anzahl der Versuchstiere nur einmal über das Bildanalysesystem zu transportieren ist, erhöht sich bei der Einzeldigitalisierung die Zahl der Transportvorgänge des Filmmaterials entsprechend der Zahl der zu analysierenden Kühe. Dieser zusätzliche Zeitaufwand für den Filmtransport kann effektiv nur durch eine automatische Filmtransporteinrichtung kompensiert werden.

Parallel zu den Maßnahmen, die im Rahmen der Digitalisierungsphase eine Zeitersparnis zur Folge haben, läßt sich ebenfalls in der Phase der mathematischen Analyse durch entsprechende Variation des Auswerteprogrammes eine Verkürzung der Rechenzeit

erreichen. Als vordringliche Maßnahme einer Verbesserung ist die partielle Übernahme der aktuell ermittelten, ausgeglichenen Werte des jeweils letzten Bildpaares (Koordinaten des Aufnahmeortes, Orientierungsparameter) als Näherungswerte für das nächste Bildpaar anzuführen. In der bestehenden Programmversion wurden auf der Basis einer vorgegebenen Näherungswertdatei beim mathematischen Analyseprozeß jedes Bildpaares alle Werte (18) im Rahmen der Selbstkalibrierung neu berechnet. Können die im letzten verrechneten Bildpaar ermittelten ausgeglichenen Näherungswerte als Ausdruck der anzutreffenden geometrischen Aufnahmesituation vollständig oder partiell bei der Analyse des folgenden Bildpaares vorausgesetzt werden, so kann damit die Zahl der Iterationen, die während des Ausgleichungsprozesses durchzuführen sind, reduziert werden.

Bei der mathematischen Analyse der Bildpaare ist jedoch nicht auszuschließen, daß sich die tatsächlichen Koordinaten der Aufnahmeorte und die Drehwinkel bei der Bilderstellung durch exogene Einflußfaktoren (z.B. Magazinwechsel) im Vergleich zu den vorgegebenen Werten der Näherungswerte des letzten Bildpaares von einem zum folgenden Bildpaar gravierend geändert haben. Aus diesem Grunde erscheint die prozentuale Anpassung der Näherungswerte von beispielsweise 20 v.H. eines Bildpaares aus den jeweils letzten fünf Bildpaaren sinnvoll, um auch bei krassen Änderungen der geometrischen Aufnahmesituation eines Bildpaares die Voraussetzungen für die mathematische Analyse sicherzustellen.

Mit der Berücksichtigung dieses Sachverhaltes im Auswertprogramm kann gleichzeitig die erforderliche Rechenzeit reduziert werden. Die Vorteile einer verkürzten Rechenzeit kommen besonders dann zum Tragen, wenn entweder eine zeitliche Trennung zwischen Digitalisiervorgang und mathematischem Analyseprozeß nicht vorgenommen werden soll oder der Minicomputer als Bestandteil des Bildanalyse-systems nur zeitlich begrenzt genutzt werden kann. Die mit dieser Maßnahme zu erwartende Zeitersparnis dürfte größenordnungsmäßig bei ca. 50 v.H. liegen.

Eine Alternative zur Verkürzung der erforderlichen Rechenzeit bei gleichbleibenden Genauigkeitsanforderungen ist ferner in

der Heranziehung leistungsfähiger Rechensysteme (Großrechner) zu sehen. Der Einsatz dieser leistungsfähigen Rechner kann jedoch nur dann eine Alternative darstellen, wenn die Anforderungen an die Hardware bzw. Software (vgl. 3.4.1 und 3.4.4) erfüllt werden können.

9.3 Möglichkeiten zur Steigerung des Informationsgehaltes

Eine Erhöhung der Informationsdichte bei der Anwendung der Methode ist besonders durch zwei Maßnahmen denkbar:

- Austausch der Reihenbildkammern durch Filmkameras zur kontinuierlichen Aufzeichnung des Versuchsgeschehens
- Verwendung der Infrarot-Filmtechnik

Mit dem Programmpaket STERDI ist prinzipiell die Möglichkeit gegeben, in der Phase der Bilderstellung anstatt der Reihenbildkammern kontinuierlich arbeitende Filmkameras einzusetzen. Damit wäre eine vollständige bildliche Dokumentation des Versuchsgeschehens zu erreichen. Wenn im Rahmen der Bildanalyse die gerätetechnischen Voraussetzungen für die Projektionen von Filmmaterial des entsprechenden Formats auf das Meßt Brett des x;y-Koordinatendigitalisierers gegeben wären, könnten aus dem insgesamt aufgezeichneten Material diejenigen Situationen quantitativ aufbereitet werden, die für die jeweilige Versuchsfrage von Bedeutung sind. Der Vorteil wäre darin zu sehen, daß mit Hilfe der Hintergrundinformation die Interpretation mit einem hohen Grad an Objektivität und Zuverlässigkeit vorgenommen werden könnte. Zusammenhänge, die ursprünglich nicht Gegenstand der Untersuchung waren, können damit indirekt ohne zusätzlichen Aufwand erfaßt werden. Ebenso wären mit dieser Art der Registrierung auch Zusammenhänge zu beschreiben, die sich erst während der eigentlichen Versuchsanstellung als markant herausstellen.

Zur Sicherung der Synchronität der zusammengehörigen Bildausschnitte der beiden Filmrollen ist jedoch die Einblendung einer Digitaluhr mit Sekundenangabe in das Blickfeld der Filmkammerobjektive eine wichtige Voraussetzung.

Die aufgezeigte Alternative ist als eine interessante Möglichkeit zu betrachten, Bildmaterial, das von kontinuierlich aufzeichnenden Registriergeräten erstellt wurde, photogrammetrisch zu vermessen. Anhand einer praktischen Durchführung wäre zu klären, welche z.Zt. nicht abzuschätzenden Schwierigkeiten bei der praktischen Umsetzung dieser Variante der Stereoanalyse zu erwarten wären.

Der Einsatz der Infrarot-Filmtechnik könnte gerade bei der Durchführung ethologischer Versuchsanstellungen von besonderem Interesse sein, wenn es gilt, das Tierverhalten bei unzureichenden Lichtverhältnissen (Nachtstunden) photographisch zu dokumentieren. Der besondere Vorteil ist darin zu sehen, daß trotz der Verwendung von intensiven Lichtquellen (Blitzgeräten) die Versuchsobjekte diese nicht nachhaltig wahrnehmen, da durch spezielle Infrarotfilter der sichtbare Teil des Wellen-Spektrums (Größe 800 nm) absorbiert wird. Als Voraussetzung dafür ist jedoch bei Versuchsanstellungen mit hoher Bildzahl die Verfügbarkeit von entsprechendem Infrarot-Filmmaterial in passendem Format sowie in Meterware erforderlich. Die Qualität der Bildpaare nach dem Entwicklungsprozeß entspricht nicht der Qualität vergleichbarer Filmbonitäten, wie z.B. 27 DIN Schwarzweiß-Film. Dieses Bildmaterial weist einen geringfügigen Grauschleier auf. Ein Vorversuch unter den speziellen Versuchsbedingungen des jeweiligen Einsatzfalles müßte zeigen, inwieweit diese Alternative als gangbar zu betrachten ist.

10. ZUSAMMENFASSUNG

Die Entwicklung moderner Laufstallsysteme für Kühe hat in den letzten 20 Jahren aufgrund ökonomischer und arbeitswirtschaftlicher Zwänge ihren vorläufigen Höhepunkt in dem Konzept des mehrreihigen, geschlossenen Liegeboxenlaufstalles mit kombinierten Funktionsbereichen gefunden. Dabei wurden Tiere im Vergleich zu Einraumlaufställen oder der Weidehaltung nicht nur mit einer systematischen räumlichen Einengung, sondern auch mit einer räumlichen Strukturierung konfrontiert. Diese Entwicklung verlief überwiegend nach empirischen Gesichtspunkten, so daß ein abgesichertes Grundlagenmaterial hinsichtlich der Auswirkungen der veränderten Lebensbedingungen auf das Herdenverhalten und besonders das individuelle Verhalten nicht zur Verfügung stand.

Die Ursachen dafür sind z.T. mit methodischen Schwierigkeiten bei der Datenregistrierung zu begründen. Die Analyse vorhandener Registrier- und Auswertemethoden (Lichtschranken, Telemetrie, Kinematographie sowie der visuellen Dauerbeobachtung) hat ergeben, daß zum gegenwärtigen Zeitpunkt nur die Nahbereichsphotogrammetrie geeignet ist, um das Herdenverhalten und besonders das Individualverhalten von Milchkühen im Liegeboxenlaufstall exakt zu quantifizieren. Allerdings lag der Anwendungsschwerpunkt photogrammetrischer Meßverfahren bisher auf anderen Gebieten, so daß für den Einsatz im ethologischen Bereich die Entwicklung eines weniger komplizierten Verfahrens erforderlich wurde - die Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare - . Sie ist besonders für die Messung von Objekten im Nahbereich (bis 100 m) konzipiert. Sie ermöglicht die dreidimensionale Standortbestimmung von Objekten anhand photographischer Vorlagen und ist somit in der Lage, durch Standort- und Aktivitätsanalysen das Tierverhalten zu messen. Diese Methode wurde bisher bei den Untersuchungen des Tierverhaltens im Liegeboxenlaufstall einer praktischen Erprobung unterzogen. Sie ist jedoch unabhängig von diesem Spezialfall universell einzusetzen.

Die Erstellung der Bildpaare erfolgte durch (Nicht)-Meßkammern (Reihenbildkammern) mit einer auf die betreffenden Einsatzbedingungen ausgerichteten Ausstattung (30 m Ansatzmagazine, Weitwinkelobjektive). Bei der Anordnung und Einrichtung der Reihenbildkammern am Versuchsort sollte auf die Ausnutzung einer maximalen Aufnahmehöhe, die Einstellung eines bestimmten Basisabstandes und die homologe Einrichtung beider Reihenbildkammern (Koordinaten der Aufnahmeorte, Drehwinkel) geachtet werden.

Im Objektraum müssen mindestens fünf Paßpunkte angebracht werden, um fixe Orientierungspunkte im Bild zu signalisieren. Die Lage der Paßpunkte sowie der Standorte der Reihenbildkammern ist vor Beginn der Aufnahmeperiode geodätisch zu vermessen.

Eine Uhr im Blickfeld beider Kammerobjektive hält den Aufnahmezeitpunkt fest und kann somit die Auswertung synchroner Bildpaare sicherstellen.

In Abhängigkeit von der Art der Meßobjekte und den versuchsspezifischen Fragestellungen müssen gut identifizierbare Meßpunkte an den Meßobjekten angebracht werden (z.B. Markierung der Widerriste der Kühe sowie Aufmalen von Zahlenkombinationen am Tierkörper).

Bei der Bilderzeugung sind versuchsspezifische Kriterien (Aufnahmefrequenz, Dauer der Aufnahmeperiode, Art und Größe der Versuchsobjekte, Beleuchtung) und kammertechnische Voraussetzungen zu beachten. Im Liegeboxenlaufstall reichte das natürliche Tageslicht in Verbindung mit der Stallbeleuchtung, einem 27 DIN Schwarzweißfilm, einer Blende von 4 und einer Belichtungszeit von 1/15 sec aus, um auswertbare Bildpaare zu erzeugen.

Die manuell vorgenommene Steuerung der Bildauslösung im Liegeboxenlaufstall konzentrierte sich auf die Erfassung aller Standort- und/oder Aktivitätsveränderungen von jedem Einzeltier der 39-köpfigen Versuchsherde. Durch die gleichzeitige Registrierung mehrerer Standort- und/oder Aktivitätsveränderungen konnte die Zahl der zu erstellenden Bildpaare reduziert werden.

Für die Bildanalyse reicht ein Minicomputer von 64 k-Byte und ein x;y-Koordinatendigitalisierer mit einer Meßtablettgröße von 76 x 102 cm aus. Bei der Analyse des in Negativform vorliegenden Filmmaterials wurden die Bildpaare auf das Meßtablett des x;y-Koordinatendigitalisierers projiziert. Die einzelnen Auswertungsschritte wurden durch ein interaktives Auswerteprogramm (STERDI) in Verbindung mit den Hardwarekomponenten gesteuert. Der Standort der zu vermessenden Objekte mußte dabei nacheinander auf dem linken und rechten Meßbild eines Bildpaares am gleichen Meßpunkt (Widerrist) als x;y- bzw. x';y'-Bildkoordinaten digitalisiert werden. Das Auswerteprogramm rekonstruiert auf der Basis der digitalisierten zweidimensionalen Koordinatenwerte in Verbindung mit einer bestimmten Anzahl von Paßpunkten (bekannte Orientierungspunkte im Stall) den jeweiligen Standort des Meßobjektes als x;y;z-Positionsangabe. Zum Zwecke der Datenverdichtung wurden während der Interpretations- bzw. Digitalisierphase der Bildpaare nur diejenigen Kühe berücksichtigt, die von einem zum nachfolgenden Bildpaar eine Standort- und/oder Aktivitätsveränderung vorgenommen haben. Die Aktivitäten der Tiere wurden individuell nach einem bestimmten Aktivitätsschlüssel klassifiziert.

Im Rahmen der Auswertung einer vierundzwanzigstündigen Aufnahmeperiode wurden 937 Bildpaare digitalisiert und analysiert. Mit insgesamt 6 517 registrierten Standort- und/oder Aktivitätsangaben waren die Voraussetzungen zur Quantifizierung des Liege-, Freß- und Lokomotionsverhaltens der Kühe im Liegeboxenlaufstall gegeben. Die Interpretation des mit der Stereoanalyse bereitgestellten Datenmaterials bezog sich einerseits auf die Analyse des gesamten Tierverhaltens der Herde. Stellvertretend für die verschiedenen Verhaltensmuster wurde am Beispiel des Liegeverhaltens die Möglichkeit einer Aufbereitung nach herden- und individualspezifischen Aspekten vorgenommen.

Ein Vergleich der Ergebnisse aus der Stereoanalyse mit den Ergebnissen einer parallel durchgeführten, vereinfachten Raster-Bildauswertung des gleichen Bildmaterials, hat die Notwendigkeit der Methode der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare

aufgezeigt. Die vollständige und individuelle Quantifizierung des Tierverhaltens auf der Basis gemessener Standorte war mit der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare vollständig und mit kontrollierbarer Genauigkeit vorzunehmen.

Da mit dem Datenmaterial der Stereoanalyse neben fachspezifischen Informationen auch Kontrollparameter über das jeweilige Fehlerniveau ermittelt wurden, konnte ausgehend von dem Grundlagenmaterial eine Fehleranalyse durchgeführt werden. Diese konzentrierte sich besonders auf die Darstellung der Ursachen und der quantitativen Auswirkungen der systematischen und zufälligen Fehlerquellen.

Die organisatorische Beurteilung zielte besonders auf den Zeitbedarf und die Kalkulation des gerätetechnischen Aufwands beim Einsatz der Methode.

Aus der praktischen Anwendung der Methode im Liegeboxenlaufstall resultierten schließlich Denkanstöße zur Optimierung des Verfahrens. In diesem Zusammenhang muß zukünftig der Reduzierung des erforderlichen Zeitaufwandes bei der Durchführung der Bildanalyse besondere Bedeutung beigemessen werden.

11. LITERATURVERZEICHNIS

1. Andreae, U.: Ethologischer Informationsgewinn aus physiologischen Hilfsmerkmalen. 2. GfT-Seminar "Angewandte Nutztierethologie" an der BLT Grub 1981.
2. Andreae, U. u. Th. Papendieck: Verhalten von Milchkühen bei der Wahl ihrer Liegeboxen im Laufstall. Der Tierzüchter Jg. 23 (1971) Nr. 15, S. 432-435.
3. Auernhammer, H.: Datenaufbereitung mit x;y-Koordinaten-Digitalisiergeräten. Landtechnik Jg. 35 (1980) Nr. 3, S. 132-134.
4. Auernhammer, H.: Auswertesysteme zur Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare. In: Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie in der Tierbeobachtung. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan 1981, H. 6, S. 46-64.
5. Auernhammer, H.: Aspekte des technischen Fortschritts in der Landwirtschaft - Hilfsmittel zur Produktionsteuerung und -kontrolle aus landtechnischer Sicht (Managementhilfen). Bay. Landw. Jahrbuch (im Druck) 1982, Sonderheft Nr. 20.
6. Baum, E.: Motographie-Grundzüge einer arbeitswirtschaftlichen Methode zur Bewegungsaufzeichnung. Zeitschrift für Arbeitswissenschaft Bd. 32 (1978) Nr. 6, S. 71-76.
7. Bockisch, F.-J., A. Zips u. J. Boxberger: Gibt es die "Normkuh" im Liegeboxenlaufstall? In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung. KTBL-Schrift 281, Landwirtschaftsverlag Münster Hiltrup 1982.
8. Boxberger, J.: Untersuchungen an einem Sperrboxenstall. In: Methodik der angewandten Verhaltensforschung (Manuskriptdruck). KTBL Frankfurt 1972.
9. Boxberger, J.: Entwicklung und Bedeutung der Nahbereichsphotogrammetrie bei der Verhaltensbeobachtung von Rindern. In: Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie in der Tierbeobachtung. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan 1981, H. 6, S. 4-18.
10. Boxberger, J. u. A. Zips: Untersuchungen zur Trinkwasseraufnahme von Milchkühen im Laufstall. Landtechnik Jg. 34 (1979) H. 7/8, S. 361-364.
11. Brantas, G. C.: Training, eliminative behaviour of Friesian-Dutch cows in the of cafeteria stable. Z. Tierzüchtung Züchtungsbiol. 85 (1968), S. 64-67.
12. Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Statistisches Jahrbuch für Landwirtschaft 1981.
13. Dietrich, J. u. H. Ellenberg: Faunistisch-floristische Notizen aus dem Saarland (1980) H. 3/4.

14. Eichhorn, H.: Technik-Gebäude Arbeitswirtschaft bei der Planung von Milchviehställen. ALB-Schriftenreihe, H. 26, Frankfurt 1965.
15. Eichhorn, H.: Die photographische Beobachtung des Einflusses von Stallhaltungsformen auf die Tiergewohnheiten. Der Tierzüchter Bd. 18 (1966) H. 24, S. 834-837.
16. Eichinger, H. M.: Biotelemetrische Systeme in Tierzucht und Tierhaltung. Züchtungskunde Bd. 49 (1977), S. 353-397
17. Feller, R.: Grundlagen und Anwendungen der Radartechnik. AT Fachverlag, Stuttgart 1975.
18. Finsterwalder, R. u. W. Hofmann: Photogrammetrie. Verlag De Gruyter, Berlin 1968.
19. Fischer, A.: Methoden zur Erfassung der Aktivitäten von Damwild in Abhängigkeit von der Raumstruktur. Diplomarbeit Forstl. Fakultät der Albert Ludwig Universität Freiburg 1978.
20. Gabr, H.: Die Rangposition von Kühen in Laufstallgruppen und ihre Auswirkungen auf Verhaltens- und Leistungsmerkmale. Dissertation Göttingen 1973.
21. Georgii, B.: Radiotelemetrie in der Wildbiologie. Z. Jagdwissenschaften Bd. 25 (1979), S. 193-200.
22. Georgii, B. u. W. Schröder: Radiotelemetrie gemessene Aktivität weiblichen Rotwildes (*Cervus elephus* L). Z. Jagdwissenschaften Bd 24 (1978), S. 9-23.
23. Gerstlauer, H.: Systematische Untersuchungen zur Freßstelleneinschränkung bei Milchkühen im Liegeboxenlaufstall. Dissertation Hohenheim 1980.
24. Hahn, G.: Aufbereitung und Speicherung von Telemetrie-Signalen. In: Telemetrie-Fernmeßtechnik und Fernübertragung. expert Verlag Grafenau Bd. 55 (1980), S. 148-163.
25. Hauptmann, J.: Verhalten von Milchkühen in modernen Stallanlagen. Archiv für Tierzucht 23 (1969), S. 491-494.
26. Högermeyer, B.: Untersuchungen zur Aufstallung von Mutterkühen im Liegeboxenlaufstall. Dissertation Göttingen 1978.
27. Irps, H.: Auswertung von optischen Registrierungen mit dem Reprooptikbewerter. Landtechnik Jg.34 (1979) Nr. 3, S.140-141.
28. Kaiser, R. u. O. Lippitz: Untersuchungen zum Verhalten von Milchkühen im Boxenlaufstall bei unterschiedlichem Tier-Liegeplatzverhältnis und ständig freiem Zugang zur reduzierten Krippe. Tierzucht Bd. 28 (1974), S. 187-189.
29. Käs, G.: Radar und andere Funktionsverfahren. Verlag Oldenburg, München-Wien 1973.

30. Koch, G.: Ehtologische Studien an Rinderherden unter verschiedenen Haltungsbedingungen. Schriftenreihe Max-Planck-Institut Tierzucht, Tierernährung 35 1968, S. 6-85.
31. Koller, G., K. Hammer, B. Mittrach u. M. Süß: Rindviehställe. BLV-Verlag München 1979.
32. Lasson, E.: Untersuchungen über die Anforderungen von Rindern an die Wärme- und Härteeigenschaften von Stand- und Liegeflächen. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan Bd. 2, Weihenstephan 1976.
33. Martin, A.: Untersuchungen zum Freß-, Liege- und Lokomotionsverhalten von Milchkühen im Liegeboxenlaufstall. Diplomarbeit Institut für Landtechnik der TU München-Weihenstephan 1980.
34. Martinot, R.: Etude comparative de l'étable à la stabulation libre pailée et de l'étable à logette pour les vaches laitières Kolloquium CIGR, Lunde 1966.
35. Metz, J. H. M. u. B. Mekking: Verhaltensmaßstäbe für die Einrichtung des Futterplatzes in Rinderlaufställen. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1977. Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup 1978.
36. Metzner, R.: Kennwerte für tiergemäße Versorgungseinrichtungen des Kurzstandes für Fleckviehkühe. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan Bd 3, Freising-Weihenstephan 1976.
37. Meyer-Ötting, U.: Reaktion von Milchrindern unterschiedlicher Nutzungsrichtung auf Formen strohloser Aufstallung. Dissertation Göttingen 1974.
38. Niemann, H.: Mustererkennung - Anwendungen. Information-Spektrum 3 (1980), S. 19-30.
39. Ordolff, D.: Der Arbeitszeitbedarf beim Melken in Melkständen und die wichtigsten Einflußfaktoren. KTBL-Schrift 158. Landwirtschaftsverlag Hiltrup 1973.
40. Pauli, P.: Telemetry - Stand und künftige Entwicklung. In: Telemetrie-Fernmeßtechnik und Fernübertragung. expert-Verlag Grafenau Bd. 55, 1980, S. 15-24.
41. Pfadler, W.: Ermittlung optimaler Funktionsmaße von Spaltenböden in Milchlaufställen. Dissertation TU München-Weihenstephan 1981.
42. Porzig, E.: Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. VEB Deutscher Landwirtschaftsverlag Berlin 1969.
43. Rüprich, W.: Untersuchungen zum Verhalten von Rindern in modernen Ställen. Die Landarbeit Bd. 18 (1967), S. 89-92.
44. Rüprich, W.: Methodische Fragen zur arbeitswirtschaftlichen Beurteilung von Produktionsverfahren in Laufställen für Rindvieh. Landarbeit und Technik Bd. 19 (1968), S. 315.

45. Saackel, L. R.: Digitale Bildverarbeitung mit softwareorientierten Systemen. DEC Seminar Tübingen 1981.
46. Sachs, L.: Angewandte Statistik. Springer Verlag Berlin 1974.
47. Sambraus, H. H.: Zur sozialen Rangordnung von Rindern. Z. für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie 86 (1970) Nr. 3, S. 240-257.
48. Sambraus, H. H.: Ausweichdistanz und soziale Rangordnung bei Rindern. Tierärztliche Praxis 1 (1973), S. 301-305.
49. Sambraus, H. H.: Das Verhalten landwirtschaftlicher Nutztiere. Eine angewandte Verhaltenskunde für die Praxis. Paul Parey Verlag, München 1978.
50. Sambraus, H. H., B. Fries u. K. Osterkorn: Das Sozialgeschehen in einer Herde hornloser Hochleistungsrinder. Z. für Tierzüchtung und Züchtungsbiologie 95 (1978/79) H. 2 S. 81-88.
51. Sauer, H. u. H. Auernhammer: Arbeitszeitbedarf für die Milchviehhaltung in Anbinde- und Laufställen. Landtechnik (1982) Nr. 4, S. 198-202.
52. Scholz, K., U. Himmel u. Ch. Lips: Problematik, Methodik und Ergebnisse von Untersuchungen zum Verhalten der Rinder und Schweine in Großbeständen. Archiv für Tierzucht 7 (1964).
53. Schön, H. u. J. Boxberger: Tierische Produktion. In: Landtechnik-Bauwesen. Die Landwirtschaft Bd 3, BLV-Verlag München 1980.
54. Seufert, H.: Verbesserungen an Aufstallungsformen für Rindvieh mit Hilfe der photographischen Tierbeobachtung. Neuzeitliche Rindviehställe. KTBL Manuskriptdruck (1970) Nr.22.
55. Seufert, H.: Die Funktionskontrolle neuzeitlicher Rindviehställe mit Hilfe der photographischen Tierbeobachtung. In: Verhaltensforschung und Haltungstechnik beim Rind. KTBL Frankfurt 1971.
56. Seufert, H.: Liegeboxenlaufställe - Funktion und Bauausführung verschiedener Stallbereiche unter Berücksichtigung von Flüssigentmistungsverfahren. Heft 32 Arbeitsgemeinschaft zur Verbesserung der Agrarstruktur in Hessen, Wiesbaden 1975.
57. Smidt, D., U. Andreae u. J. Unshelm: Ist Wohlbefinden meßbar? Anmerkungen zu einem Tierzuchtproblem. Der Tierzüchter Bd. 32 (1980), S. 338-340.
58. Stephani, M.: Erläuterungen zum Programmpaket "STERDI". Programmbibliothek Weihenstephan 1981

59. Stephani, M.: Methodische Grundlagen der Nahbereichsphotogrammetrie. In: Einsatz der Nahbereichsphotogrammetrie in der Tierbeobachtung. Schriftenreihe der Landtechnik Weihenstephan, H. 6, Weihenstephan 1981, S. 31-45.
60. Stuart, H. A. u. G. Klages: Kurzes Lehrbuch der Physik. Springer-Verlag Berlin-Heidelberg-New York 1977.
61. Süss, M.: Das Verhalten von Kühen in Kombibuchten. In: Verhaltensforschung und Haltungstechnik beim Rind. KTBL Manuskriptdruck Frankfurt (1971), S. 37-44.
62. Süss, M.: Beitrag zum Verhalten von Milchkühen in Freßboxenställen und herkömmlichen Laufställen. Dissertation Wien 1973.
63. Thurm, F. u. B. Schneider: Untersuchungen zur Grundrißgestaltung in Milchviehanlagen bei besonderer Berücksichtigung der Tierbewegung. Agrartechnik Jg. 24 (1974) Nr. 2, S. 58-62.
64. Tschirch, H. R. u. O. A. Sommer: Über das Verhalten von Milchkühen bei unterschiedlicher Haltungsform, unter besonderer Berücksichtigung von Liegezeit und Reihenfolge beim Melken. Bayer. Landw. Jahrbuch Bd. 4 (1970), S. 771-810.
65. Wander, J.-F.: Methoden und Ergebnisse angewandter Verhaltensforschung in der Nutztierhaltung. Landbauforschung Völknerode Bd. 15 (1965) Nr. 2, S. 145-152.
66. Wander, J.-F.: Haltungs- und verfahrenstechnisch orientierte Verhaltensforschung. Züchtungskunde Bd. 48 (1976) Nr. 6, S. 447-459.
67. Wander, J.-F.: Tierhaltungstechnischer Systemvergleich: Liegeboxen-Freßboxen für Milchvieh. Landbauforschung Völknerode Bd. 27 (1977), S. 165-170.
68. Wenner, H. L. u. H. Schön: Notwendigkeiten zur Baukostensenkung. Bauen auf dem Lande Bd. 24 (1973) Nr. 1, S. 5-9.
69. Zeeb, K.: Angewandte Ethologie bei der Haustierhaltung. Deutsche Tierärztliche Wochenschrift 77 (1970), S. 125-126.
70. Zeeb, K.: Eine neue Methode der Aktivitätserfassung beim Rind. Tierärztliche Umschau (1972) Nr. 5, S. 222 f.
71. Zeeb, K.: Ethologisch-ökologische Haltungssysteme am Beispiel Milchvieh. Referat anlässlich X. Landwirtsch. Fachgespräche, Bad Dürkheim, Nov. 1973.
72. Zeeb, K.: Ethologisch-ökologische Systematik der Tierhaltung. Tagungsbericht der 6. Arbeitstagung zu Fragen der Güllerei, Gumpenstein Juni 1974, S. 1-11.

73. Zips, A. u. J. Boxberger: Die Nahbereichsphotogrammetrie als Meßverfahren zur Erfassung und Quantifizierung des Tierverhaltens. In: Aktuelle Arbeiten zur artgemäßen Tierhaltung 1980. KTBL-Schrift 264, Landwirtschaftsverlag Münster-Hiltrup (1980), S. 217-230.

Normen, Regelwerke

74. DIN 18 716, 1. Teil: Photogrammetrie und Fernerkundung. Beuth-Verlag Berlin 1980.

EDV-Programme (alle in Programmbibliothek Weißenstephan)

75. Auernhammer, H.: "HAEUFI" (Häufigkeitsanalyse) 1978.
76. Auernhammer, H.: "MEMIWE" (Mehrfache Mittelwertanalyse) 1979.
77. Auernhammer, H.: "SORTFU" (Sortieren numerischer Datenbestände mit wählbarem Format bei "und"-Verknüpfungen) 1979.
78. Auernhammer, H.: "XYDIFF" (Berechnung linearer Abstände sequentieller x;y-Koordinaten) 1979.
79. Auernhammer, H.: "ZAEHLE" (Zählen der Dateizeilen) 1979.
80. Auernhammer, H. u. M. Stephani: "STERDI" (Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare) 1981.
81. Stephani, M.: "IMOR" 1980.
82. Wendl, G.: "PLOTTE" (graphische Darstellung von x;y-Koordinaten) 1980.
83. Wendl, G.: "PLOTTZ" (graphische Darstellung von x;y-Koordinaten aus der Stereoanalyse digitalisierter Bildpaare) 1980.
84. Wendl, G.: "ZEIDIFS" (Errechnen von Zeitdifferenzen) 1980.

- A N H A N G -

Tabelle 1: Erläuterungen zum Versuchsstall

	Bemerkungen
Stallsystem	geschlossener Liegeboxenlaufstall in Holz-Fertigbauweise (Dach = Decke)
Zahl der Liegeboxenreihen	2 Reihen als gegenständige Liegeboxen 1 Reihe Wandboxen
Anzahl und Art der Liegeboxen	39 Tiefboxen mit Strohhäcksel-Einstreu
Entmistung	Flüssigentmistung (Treibmistverfahren)
Ausführung der Laufflächen	Vollspaltenboden, Ballenauftrittsbreite 15 cm, Schlitzweite 3,5 cm
Futterachse	Überfahrbarer Futtertisch mit Selbstfangfreßgitter (39 Freßplätze)
Lüftung	Zwangslüftung (Unterdruck)
Trinkwasserversorgung	1 Trogtränke (100 l) 1 Selbsttränkebecken
Melkzentrum	2 x 4 FG Melkstand, 8 Melkeinheiten

Tabelle 2: Versuchsrelevante Kriterien bei der Versuchsdurchführung im Liegeboxenlaufstall

Kriterium	Bemerkungen
Versuchszeitraum	25. 9. 79 - 27. 9. 79 (48 Std.)
Versuchstiere	39 Versuchstiere, davon 25 Schwarzbunte 2 Fleckviehkühe 12 Kreuzungstiere
Futtergrundlage	dreimalige Grünfuttermahlzeit mit mehrmaligem Nachschieben, zweimalige Maissilagefütterung
Kraftfutterfütterung	dreimal täglich von Hand am Freßgitter
Stallklima (Hygrometer bzw. Velometer)	durchschnittliche Luftfeuchte 87°C durchschnittliche Temperatur 15°C Luftgeschwindigkeit 0,1 m/sec
Beleuchtung	Dauerbeleuchtung 14 Neonröhren à 60 Watt 13 Neonröhren à 40 Watt
Stallfläche pro Tier	durchschnittlich 5,8 m ²
Gesundheitszustand der Tiere	alle Tiere gesund mit Ausnahme von 5 klauenkranken Tieren
Milchleistung	5.500 kg Herdendurchschnitt (1979) bei 3,9 % Fett

Bedienungsanweisungen zum interaktiven Auswerteprogramm STERDI

Programm STERDI

Mit diesem Programm können bis zu 50 Punktpaare aus Stereobildern hinsichtlich ihrer x;y;z-Koordinaten analysiert werden (Bildpunkte einschließlich Paßpunkte).

Für die Auswertung wird die Paßpunktdatei (Passp. Dat) und die Näherungswertdatei (Nwert. Dat) benötigt.

Programmieren Sie nun das Digitalisiergerät durch folgende Eingaben:

```
Input 5  1020.76   Input 6  760.75   Enter
Set       Send     Discr   x;y       Enter   x;y
```

Maximale Zahl der Iterationen (0 = 7)?

Ihren Namen bitte!

Im Programm sind folgende Steuerparameter enthalten:

```
ICR      = 2
CCR (1)  = .024
CCR (2)  = .024
SIGO     = .0002
RIZP     = 3.
RIZPR    = .0
SXO      = .0001
SYO      = .0001
SZO      = .0001
SA       = .01
SB       = .01
SC       = .01
SBIKO    = .0002
SL       = .01
SH       = .01
SZP      = 10.E 10
XOK      = .5
YOk      = .5
ZOK      = .5
AK       = .5
BK       = .5
CK       = .5
```

Müssen Sie diese Werte ganz oder teilweise ändern?

Welchen Aktionscode wünschen Sie?

- 0 = Bildauswertung (Digitalisieren + Auswerten)
- 1 = nur Digitalisieren
- 2 = digitalisierte Daten auswerten (Nachtlauf)
- 3 = Programmstop

Nenne den Aktionscode!

Nenne die Datei für die Ausgabe der x;y;z-Daten:

Digitalisieren Sie nun die Bildeckpunkte:

- linkes Bild, 1. Ecke
- 2. Ecke
- 3. Ecke
- 4. Ecke
- rechtes Bild, 1. Ecke
- 2. Ecke
- 3. Ecke
- 4. Ecke

Nenne den Aufnahmezeitpunkt

- Std. =
- Min. =
- Sek. =

Digitalisiere nun die einzelnen Kühe in der Reihenfolge (Eingabekorrekturmöglichkeiten durch Flag 1 = Merkmalswiederholung, Flag 2 = letztes Merkmal, Flag 1 + 2 = gesamtes Bild wiederholen):

Punktnr.	Kuhn.	linkes Bild	rechtes Bild	Aktivität
.....