



Dokumentation historischer Hammerklaviere mit CAD-Modellen – eine Anwendung der Nahbereichsphotogrammetrie

Martin Kerschner ¹, Monika Schöner ²

¹ *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29/1 22, A-1040 Wien*

² *Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27-29/1 22, A-1040 Wien*

VGI – Österreichische Zeitschrift für Vermessung und Geoinformation **86** (2), S. 74–78

1998

Bib_T_EX:

```
@ARTICLE{Kerschner_VGI_199810,  
Title = {Dokumentation historischer Hammerklaviere mit CAD-Modellen -- eine  
Anwendung der Nahbereichsphotogrammetrie},  
Author = {Kerschner, Martin and Sch{o}ner, Monika},  
Journal = {VGI -- {"0}sterreichische Zeitschrift f{"u}r Vermessung und  
Geoinformation},  
Pages = {74--78},  
Number = {2},  
Year = {1998},  
Volume = {86}  
}
```





Dokumentation historischer Hammerklaviere mit CAD-Modellen – eine Anwendung der Nahbereichsphotogrammetrie

Martin Kerschner und Monika Schöner, Wien

*Genausogut könnten wir versuchen, den Genius von Mozart an der Zahl, dem Gewicht und der Größe der Klaviere zu messen, auf denen er gespielt hat. ...
Nein. Die Wissenschaft muß ihre Grenzen erkennen. Oder besser: Sie muß sich vor dem Künstler verneigen.
(Frédéric Leboyer, Das Fest der Geburt)*

Zusammenfassung

Vier historisch interessante Hammerklaviere aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts wurden in einer Zusammenarbeit von Photogrammetern und Musikhistorikern erstmals detailgetreu vermessen und in einem CAD-System visualisiert. Dabei war es notwendig, sehr viele Details hochgenau aufzunehmen und trotzdem die historische Substanz zu schonen.

Die heute zur Verfügung stehende Technik, wie die Verwendung einer Mittelformatkamera mit Réseauplatte, läßt flexible Aufnahmeanordnungen zu. Gleichzeitig kann die rechnerische Rekonstruktion der inneren Orientierung erheblich verbessert werden, indem ein geeigneter Interpolationsalgorithmus zur Transformation der gemessenen Bildkoordinaten auf das Soll-Réseau angewendet wird.

Abstract

In a co-operation between photogrammetrists and musicologists four historically valuable pianofortes of the late 18th century were recorded in all details and visualised in a CAD-system. For that purpose it was necessary to register many details with high precision while not straining historic substances.

Modern photogrammetric techniques like the use of a medium format camera with réseau plate allow flexible camera arrangements. Nevertheless, the reconstruction of the Interior Orientation can be considerably increased by applying an appropriate interpolation algorithm for the transformation of measured image co-ordinates to the desired réseau-grid.

1. Einleitung

Im Rahmen eines interdisziplinären Forschungsprojektes¹ unter der Leitung von Frau Prof. Badura-Skoda wurde eine Reihe historisch wertvoller Klaviere bis ins kleinste Detail vermessen, dokumentiert und analysiert. Das Ziel war die Generierung hochgenauer CAD-Modelle, die für Musikhistoriker die Grundlage für geometrisch fundierte Aussagen zu Fragen der Bauweise und Herstellungstechniken sowie zur klanglichen Natur dieser Instrumente bilden. Durch die gleichartige Erfassung mehrerer ähnlicher Instrumente können Vergleichsstudien angestellt sowie Fragen zum Erbauer und zur Datierung der Instrumente beantwortet werden. Überdies kann möglicherweise auch ein späterer Eingriff in die Originalsubstanz festgestellt werden.

Bisher wurden Klaviere oft nur im Zuge von Restaurierungsarbeiten und auch dann nur un-

vollständig und mit ungeeigneten Mitteln vermessen. Daher bestand der dringende Bedarf an genauen, umfassenden Plänen und Koordinaten der Detailpunkte in einem einheitlichen, klavierbezogenen System. Da es sich um besonders wertvolle Instrumente handelt, mußte die Vermessung an Ort und Stelle, möglichst rasch und berührungsfrei erfolgen, ohne bei der Genauigkeit Einbußen hinnehmen zu müssen.

Für diese Aufgabenstellung erschien auch in Hinblick auf die überaus große Zahl der zu erfassenden Punkte die Photogrammetrie am besten geeignet.

2. Beschreibung der Instrumente

Sämtliche untersuchten Klaviere stammen aus der Werkstatt des Wiener Klavierbauers Anton

¹ Das Projekt wurde vom Fonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung (FWF) gefördert (Projekt Nr. P06498-SPR).

Walter aus der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts. Sie zählen damit zu den ältesten Tasteninstrumenten, bei denen die Saiten mit Hämmern angeschlagen und nicht – wie bei Cembali üblich – mit Kielen gezupft werden. Bei den vier vermessenen Hammerklavieren kommt die sogenannte Wiener Mechanik (Prellmechanik) zum Einsatz, die einfacher als die in Italien entwickelte Stoßmechanik ist.

Das älteste der vermessenen Klaviere gehörte W. A. Mozart und befindet sich heute im Mozarthaus in Salzburg (Abb. 1). Die weiteren Flügel stehen in Eisenstadt, im Linzer Schloßmuseum und im Kunsthistorischen Museum in Wien.

3. Anordnung der Photos

Von den Klavieren wurden sowohl „Luftbilder“ (von einem behelfsmäßigen Gerüst) als auch Schrägaufnahmen gemacht: jedes Klavier wurde durch einen Streifen von sechs bis sieben Senkrechtaufnahmen (Bildmaßstab 1:20, Basis 40 cm), durch ca. 20 konvergente Schrägaufnahmen von Standpunkten rund um das Klavier und durch zwei Stereomodelle von vorne photographisch erfaßt (Abb. 2). Zusätzlich wurden ca. acht Aufnahmen von der ausgebauten Mechanik und ein Stereomodell von zwei ausgebauten Tasten gemacht.

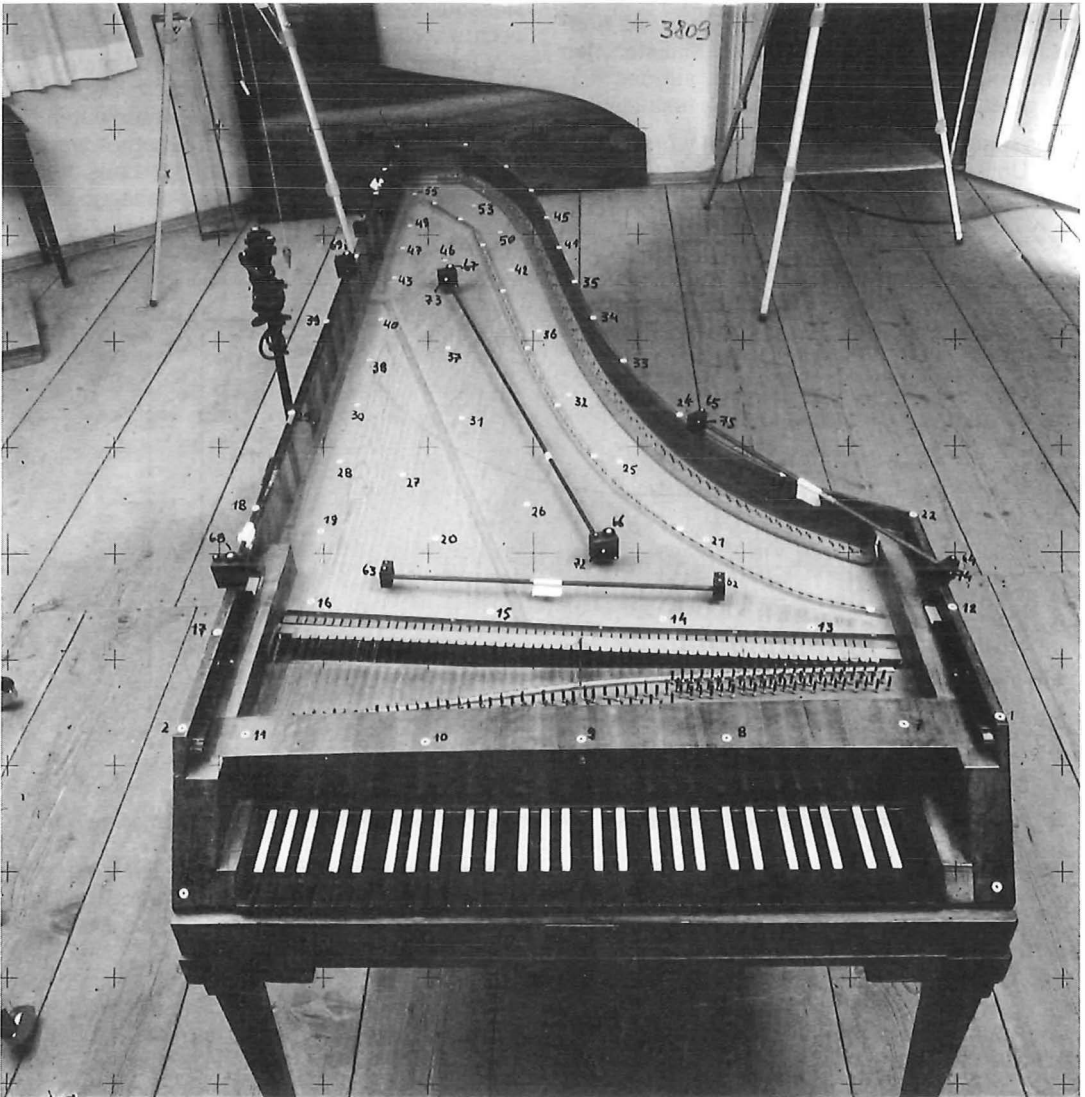


Abb. 1: Mozart's Hammerklavier

Für die Aufnahmen wurden Mittelformatkameras vom Typ Rolleiflex 6006 verwendet. Es handelt sich dabei um Teilmeßkameras, die gegenüber Meßkameras leichter und daher flexibler einsetzbar sind. Um Verzug und Nicht-Planlage des Filmes berücksichtigen zu können, befindet sich vor der Bildebene eine Glasplatte mit einem regelmäßigem Raster von 121 Réseaukreuzen, die am Photo mitabgebildet werden. So können die gemessenen Bildkoordinaten rechnerisch korrigiert werden, was eine erhebliche Genauigkeitssteigerung gegenüber Nicht-Meßkameras ermöglicht [1].

Um die Genauigkeit des Bündelblockausgleichs zu erhöhen, wurden auf dem Klavier ca. 70 rückstandslos abziehbare Signale angebracht, die als Verknüpfungspunkte in die Ausgleichung eingeführt wurden. Der Maßstab des Bündelblocks wurde durch einige, auf das Klavier gelegte Karbonfaser-Maßstäbe festgelegt.

Die photographischen Arbeiten wurden von der Universität der Bundeswehr (UniBW) in München durchgeführt [2], [3].

Es wurden die Form der Zarge, des Stimmstocks, usw., die Oberfläche des Resonanzbodens und die Positionen der Wirbel und der Stifte, an denen die Saiten aufgehängt sind bzw. umgelenkt werden, vermessen. Weiters wurde die Mechanik, die im wesentlichen aus den Tasten und Hämmern besteht, detailliert ausgewertet. Zur Beschreibung aller Details wurden knapp 10000 Punkte pro Klavier erfaßt. Der Arbeitsaufwand für die Auswertung belief sich auf etwas mehr als 100 Stunden pro Klavier.

Die Berechnung der 3D-Koordinaten dieser Punkte erfolgte mit dem photogrammetrischen Ausgleichspaket ORIENT [4]. Zu Beginn wurden die Bildkoordinaten mit Hilfe der gemessenen Réseaukreuze um lokale Deformationen (Filmverzug + Nichtplanlage des Films) korrigiert. Für die Transformation wurde die Interpolation nach kleinsten Quadraten mit Filterung verwendet [5]. Dabei können die gemessenen Koordinaten der Réseaukreuze als fehlerhaft betrachtet werden, und die lokale Filmdeformation wird aus mehreren – nicht nur den unmittelbar benachbarten –

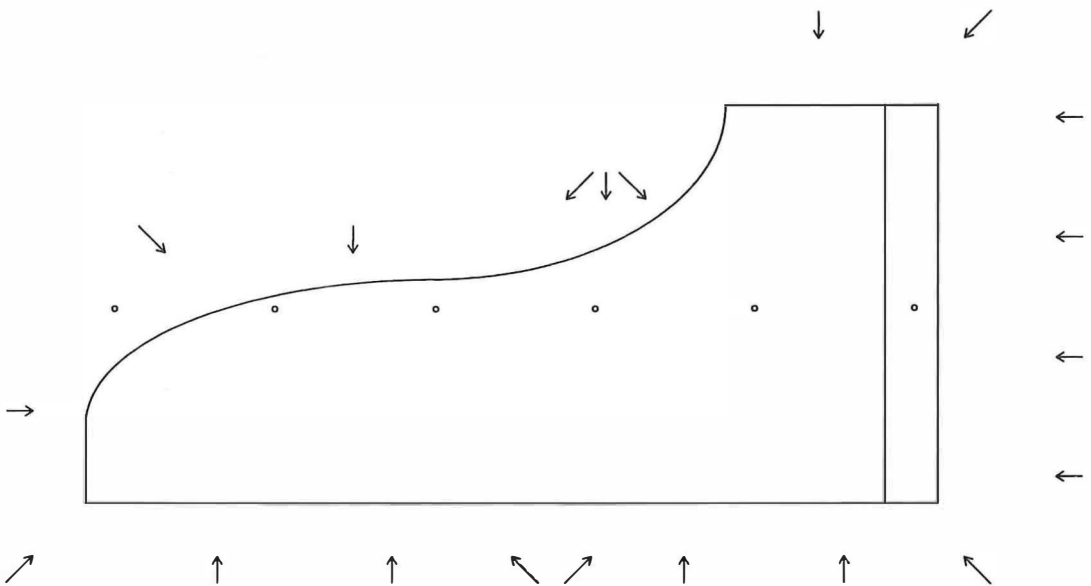


Abb. 2: Aufnahmeanordnung: Kreise symbolisieren Senkrechtaufnahmen, Pfeile deuten Schrägaufnahmen an.

4. Auswertung

Die Auswertearbeit geschah größtenteils an der TU Wien (ein kleiner Teil wurde noch an der UniBW München gemessen). Dazu stand ein analytisches Auswertegerät Wild BC3 zur Verfügung, das keine On-Line Réseaukorrektur besitzt. Die Bildkoordinatentransformation auf das Réseau war dennoch möglich, mußte aber offline erfolgen.

Kreuzen im Umkreis geschätzt. Dies war notwendig, da manche Kreuze aufgrund geringen Kontrasts schlecht bis gar nicht zu messen waren.

Danach wurde ein freier Netzausgleich über die aufgeklebten Signale und die Maßstabsstrecken gerechnet. Die Vielzahl der Detailpunkte wurde durch Vorwärtsschnitt aus den orientierten Bildern bestimmt.

Abschließend mußten diejenigen Detailpunkte, die an der ausgebauten Mechanik gemessen wurden, über einige Paßpunkte in das Klavier zurücktransformiert werden. Als Ergebnis der Berechnung steht eine dreidimensionale Punktwolke aller Klavierpunkte in einem einzigen Koordinatensystem zur Verfügung.

Die Genauigkeitsforderungen der Musikhistoriker für die Koordinaten der Wirbel und der Stifte, an denen die Saiten aufgehängt bzw. umgelenkt sind, lag im Bereich von wenigen Zehntelmillimeter. Diese Stifte legen die Länge der frei schwingenden Saite fest. Will man Analysen zum Klang des Instruments durchführen, sind daher die exakten Positionen dieser Stifte von höchstem Interesse. Die Aufnahmeanordnung erlaubte es, die Stifte in vielen verschiedenen Ansichten auszuwerten. So konnte ein mittlerer Fehler von ± 0.1 bis ± 0.2 mm erreicht werden. Die mittleren Fehler der restlichen Detailpunkte sind um eine Zehnerpotenz höher. Eine weitere Genauigkeitssteigerung ist aufgrund der Definitionsunsicherheiten der gemessenen Punkte kaum mehr möglich.

5. Graphische Aufbereitung der Daten

Anschließend an die Auswertung folgt ein wesentlicher Arbeitsschritt, die Aufbereitung der Daten in einem CAD-System (in unserem Fall AutoCAD). Die Punkte können anhand eines klar definierten Punktnummernschemas in verschiedene Layer aufgeteilt werden. Manche Punkte müssen noch durch Linien verbunden

werden, um die Anschaulichkeit zu erhöhen. Diese Arbeiten werden von Dr. Konstantin Restle in Berlin durchgeführt, der auch die weiteren instrumentenbaulichen Untersuchungen leitet.

Aus den fertigen CAD-Modellen der Klaviere können verschiedenste Ansichten mit unterschiedlichen Detaillierungsgraden erzeugt werden. Abb. 3 zeigt eine axonometrische Ansicht des Eisenstädter Klaviers.

6. Diskussion

Da in diesem Projekt nicht nur ein Konzept erstellt, sondern die praktische Arbeit auch tatsächlich an vier Klavieren durchgeführt wurde, konnten einige wertvolle Erfahrungen gesammelt werden, die für zukünftige ähnliche Projekte hilfreich sein können:

- Vom photographischen Standpunkt aus ergab sich folgendes Problem: Die extremen Helligkeitsunterschiede bei den Tasten lassen keine Belichtungszeiten zu, bei denen sowohl die weißen als auch die schwarzen Tasten richtig belichtet werden. Im vorliegenden Fall wählten wir aus verhältnismäßig langen Belichtungsreihen für jeden Standpunkt oft unterbelichtete Bilder, in denen die weißen Tasten aber trotzdem überstrahlt waren. Um den extrem starken Kontrast zu verringern, hätte das Klavier während der Aufnahme stärker beleuchtet werden müssen. Der künstlichen Beleuchtung waren jedoch Grenzen gesetzt, da sich zum Schutz der historischen Substanz der Raum nicht erwärmen durfte.

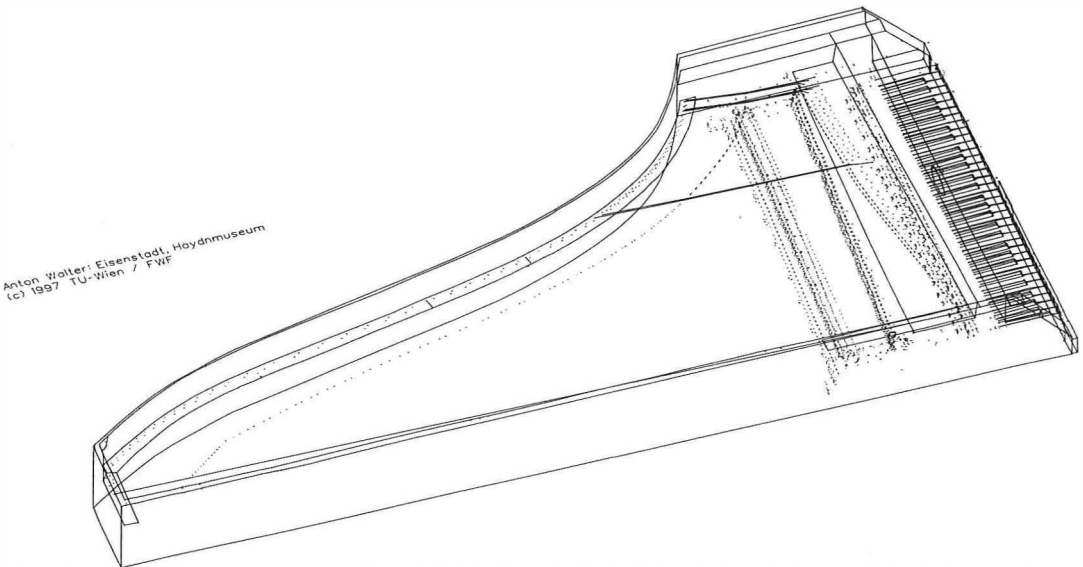


Abb. 3: Axonometrie des Flügels im Haydnmuseum in Eisenstadt. Einige Saiten sind exemplarisch eingezeichnet.

- Der Wunsch der Musikwissenschaftler, die Verwellungen des Resonanzbodens im Zehntel-millimeterbereich erfassen zu können, konnte nicht befriedigt werden, da kaum gut definierte Punkte aus verschiedenen Ansichten erkennbar waren. Aus den „Luftbildern“ konnte kein verlässlicher Stereoeindruck gewonnen werden, da die Maserung des Holzes meistens parallel zu den Saiten und damit auch parallel zur Aufnahmebasis läuft. Für diese Aufgabe müßten Stereopaare mit der Basis quer zur Holzmaserung photographiert werden. Auch die Projektion eines Musters auf den Resonanzboden könnte Abhilfe schaffen, wodurch auch eine automatisierte, digitale Rekonstruktion der Oberfläche möglich wird.
- Die Réseautransformation mittels Interpolation nach kleinsten Quadraten mit Filterung hat sich bewährt, besonders bei jenen Bildern, bei denen sehr viele Réseaukreuze wegen des schlechten Kontrasts nicht meßbar waren. Es wäre daher wünschenswert, daß diese Möglichkeit zukünftig auch bei der On-line-Korrektur auf analytischen Auswertegeräten verfügbar wird.

sen zur Bauweise der Klaviere am CAD-Modell überprüfen, ohne das entsprechende Instrument vor sich zu haben. Räumliche Strecken zwischen beliebigen Punkten am Klavier können direkt im CAD-Modell abgelesen werden. Die Pläne der Instrumente können als Beitrag zur Dokumentation und Sicherung historischer Substanz angesehen werden, da mit ihnen ein detailgetreuer Nachbau ermöglicht wird.

Literatur

- [1] *Wester-Ebbinghaus, W.*, 1989: Das Réseau im photogrammetrischen Bildraum. Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 57(3), pp 64–71
- [2] *Kotowsky, R., Peipe, J.*, 1994: Optimizing the Photogrammetric Network to Record Mozart's Pianoforte, Photogrammetric Record, 14(83), pp 783–792
- [3] *Roopun, S.*, 1992: Photogrammetrische Vermessung von Hammerklavieren. Diplomarbeit am Lehrstuhl für Photogrammetrie der TU München
- [4] *Kager, H.*, 1989: Orient: A Universal Photogrammetric Adjustment System. Optical 3-D measurement Techniques, Wichmann Verlag, Karlsruhe, 1989, pp 447–455
- [5] *Kraus, K.*, 1972: *Film Deformation Correction with Least Squares Interpolation. Photogrammetric Engineering*, vol. 26, pp 487–493

Adresse der Autoren:

Dipl.-Ing. Martin Kerschner (mk@ipf.tuwien.ac.at), Dipl.-Ing. Monika Schöner (ms@ipf.tuwien.ac.at): Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Technische Universität Wien, Gußhausstraße 27–29/122, A-1040 Wien

7. Ausblick

Die gewonnenen Daten stehen nun Musikhistorikern zur Verfügung. Sie können Hypothe-



Konzept der hierarchischen Netzstruktur für AREF

Fritz K. Brunner, Graz und Robert Weber, Wien

Zusammenfassung

Dem weltweiten Bestreben zur Anlage homogener Landesnetze mit Hilfe der Satellitenmeßtechnik hat sich auch Österreich seit dem Beginn dieses Jahrzehnts angeschlossen. Der aktuelle Stand der Technik erlaubt es, die verfügbaren Basisnetze mit Hilfe von GPS bis zu einem Punktabstand von unter 20 km ohne Genauigkeitsverlust zu verdichten. Die vorliegende Arbeit erläutert ein möglichst optimales Konzept zur Anlage dieser Verdichtungs-messungen und zu ihrer Einbindung in ein internationales GPS Referenzsystem.

Abstract

The establishment of homogeneous reference-networks using modern satellite tracking systems was launched globally early this decade. Austria has been able to partizipate in these efforts quite successfully. Latest developments in technology allow for the densification of these networks down to a mean point separation below 20 km using GPS without any loss of accuracy. This paper discusses the optimal design of a hierarchial network, its tie to the international reference frame and the densification measurements.

1. Einleitung

Zu Jahresbeginn 1996 wurde die „GPS-Netz Zi-
viltechniker GmbH. (ZT)“, ein Zusammenschluß

österreichischer Ingenieurkonsulten für Ver-
messungswesen, ins Leben gerufen. Ein vor-
dringliches Ziel dieser neugegründeten Gesell-
schaft war die Schaffung eines landesweiten ho-