Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH Kongressbericht

Band: 11 (1980)

Artikel: FLOWERS: Ein neues Finite-Element-Programm für Lehre, Praxis und Forschung

Autor: Anderheggen, E. / Walder, U.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-11332

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 02.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

VII

„FLOWERS: Ein neues Finite-Element-Programm für Lehre, Praxis und Forschung"

„FLOWERS: A New Finite Element Programme for Teaching, Practice and Research"

„FLOWERS: Un nouveau programme d'éléments finis pour l'enseignement, la pratique et la recherche"

E. ANDERHEGGEN
Prof. Dr.
Institut für Informatik ETHZ
Zürich, Schweiz

U. WALDER
Dr.
Institut für Informatik ETHZ
Zürich, Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG
Ein neues Programmsystem für verschiedenartige Anwendungen der Methode der finiten Elemente wird zur Zeit am Institut für Informatik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich entwickelt. Die Ziele, die man dabei verfolgt, werden hier erläutert.

SUMMARY
A new general purpose finite-element programme is being written at the Institute for Computer Science of the Swiss Federal Institute of Technology in Zurich. The main criteria followed for this software development are discussed in the present paper.

RESUME
Un nouveau programme d'éléments finis est développé à l'Institut d'Informatique de l'Ecole Polytechnique Fédérale de Zurich. On discute ici les principaux critères suivis pour sa réalisation.

1. EINLEITUNG

Der vorliegende Artikel soll die Ziele erläutern, die man am Institut für Informatik der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich mit der Entwicklung des neuen Finite-Element-Programms FLOWERS verfolgt. Dabei geht es nicht um theoretische Herleitungen die z.B. FE-Modelle oder Lösungsalgorithmen betreffen, sondern in erster Linie um die Anforderungen, die heute an ein modernes, den Bedürfnissen der Lehre, Forschung und Praxis Rechnung tragendes FE-Programm zu stellen sind. Bei der Planung des Programmsystems FLOWERS stützen sich die beiden Autoren auf die Erfahrungen, die sie bei der Entwicklung, Anwendung und Betreuung der in der Schweiz seit Jahren viel verwendeten Programme STRESS, FLASH und STATIK gesammelt haben. Auf einige Hauptmerkmale dieser drei Vorgänger des Programmsystems FLOWERS soll deswegen im nächsten Abschnitt kurz eingegangen werden.

2. DIE PROGRAMME STRESS, FLASH UND STATIK

Gegen Mitte der sechziger Jahre wurde am Institut für Baustatik und Konstruktion der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich das ursprünglich am Massachussets Institute of Technology entwickelte Programm STRESS [1] übernommen, verschiedentlich verbessert und den Bauingenieurstudenten als didaktisches Hilfsmittel zur Verfügung gestellt. Das Programm wurde dann in zwei von über 500 Ingenieuren besuchten Fortbildungskursen der Praxis vorgestellt und wurde bald das während mehreren Jahren in der Schweiz am meisten verwendete baustatische Computerprogramm. Historisch gesehen spielte STRESS in der Schweiz und auch anderswo eine wichtige Rolle, da es für viele Bauingenieure den ersten Kontakt mit technischen Computeranwendungen darstellte. STRESS kann nur linear-elastische, statisch-belastete ebene und räumliche Rahmen- und Fachwerke berechnen. Darin liegt aber einer der Hauptgründe seines Erfolges. Von den vielen möglichen Anwendungen allgemeiner FE-Programme ist nämlich die lineare Stabstatik bei vielen Bauingenieuren das einzige, das sie zur Lösung praktischer Bemessungsaufgaben brauchen und das sie folglich auch klar überblicken. Ein weiterer Grund des Erfolges von STRESS lag in seiner leicht erlernbaren, problemorientierten, formatfreien Eingabesprache. Diese erlaubte den Ingenieuren aus der Praxis, selbst wenn sie nur sporadische STRESS-Benützer waren, die Eingabeanweisungen ohne Hilfe von Spezialisten selber vorzubereiten.

Nach dem Erfolg von STRESS wandte man sich einem weiteren, für Lehre und Praxis wichtigen Anwendungsgebiet von FE-Programmen, nämlich der statischen Analyse von Flächentragwerken zu. Dafür wurde das Programm FLASH [2], [3] zur Berechnung linear-elastischer, statisch belasteter Scheiben, Platten und Schalen entwickelt. FLASH ist das erste

Grossprogramm, dessen Eingabesprache mit Hilfe von Syntaxdiagrammen beschrieben wird. Diese erlauben auf äusserst übersichtliche Art und Weise die vom Programm erwartete Reihenfolge der problembezogenen Eingabedaten, d.h. die Syntax der Eingabesprache festzulegen. Die vollständige Eingabesprache von FLASH mit all den vielen Möglichkeiten, die im Programm eingebaut sind, benötigt nur ein dreiseitiges, leicht überblickbares Syntaxdiagramm, das in der Benützeranleitung im Detail beschrieben wird. Selbst der mässig geübte Programmbenützer kann nach einer einmaligen Studie der Benützeranleitung allein mit dem Syntaxdiagramm seine Eingabe jeweils vorbereiten. Syntaxdiagramme sollen hier nicht näher erläutert werden (siehe auch Abb. 1). Es soll jedoch betont werden, dass sie auch im Hinblick auf die positiven Erfahrungen, die man damit mit dem Programm STATIK gemacht hat, in den Augen der beiden Autoren als unerlässliches Attribut von lehr- und praxisorientierten Computerprogrammen zu betrachten sind. Neben der besonders bequemen Eingabe hat FLASH, nach mehreren Jahren Entwicklungszeit, heute einen Reifegrad erreicht, der die meisten Bedürfnisse der Praxis, selbst für anspruchsvolle Benützer erfüllen dürfte: numerische Effizienz, ausgedehnte graphische Ausgabe, interne Variablennummeroptimierung, Restart-Möglichkeiten usw.

Als weiteres Grossprogramm wurde gegen Mitte der siebziger Jahre, das Programm STATIK [4], [5] entwickelt, dessen Hauptziel in der Ersetzung des längst veralteten und in mancher Hinsicht recht primitiven STRESS-Programms bestand. STRESS und STATIK behandeln die gleiche Art von Problemen und wenden sich an den gleichen Benützerkreis. Beim Programm STATIK hat man sich von vornherein bewusst auf Probleme beschränkt, bei denen eine theoretisch exakte Lösung und nicht wie üblich bei der FE-Methode, eine Nährungslösung gefunden werden kann. Damit stellt sich die für wenig sachkundige Benützer oft schwierige Frage nach der Wahl des geeigneten mathematischen Modells (Elementmasche, Elementtypen, usw.) bei gegebenem statischen Modell nicht. Man gewann nämlich den Eindruck, dass viele bekannte FE-Programme für durchschnittliche Bauingenieuranwendungen zu viel können, was ihren Einsatz erschwert und oft die Inanspruchnahme von Spezialisten notwendig macht. Das Programm STATIK wurde mit einem Aufwand von sieben bis acht Mannjahren entwickelt. Es deckt ein relativ enges Gebiet ab (lineare Stabstatik, inklusiv Querschnittanalyse, Vorspannberechnungen, Einflusslinien, Berücksichtigung von Bauzuständen, usw.), bietet jedoch, dank Syntaxdiagrammen, graphischer Ausgabe, Restart-Möglichkeiten, usw. einen von keinem der den beiden Autoren bekannten Stabwerkprogrammen erreichten Benützercomfort. STATIK ist heute an der ETH Zürich und an anderen Hochschulen ein viel verwendetes didaktisches Instrument geworden. Es wird in der Schweiz, sowie mehr und mehr auch in Nachbarländern, von vielen Ingenieuren aus der Praxis regelmässig verwendet.

Sowohl FLASH wie STATIK wurden ursprünglich für Grosscomputeranlagen, die im Batch-Betrieb arbeiten geschrieben.

Die heutige Tendenz, technische Anwendungen auf kleineren, dezentral gelegenen Kleincomputern zu implementieren hat es jedoch notwendig gemacht, völlig portable Programmversionen zu entwickeln. Der potentielle Benützerkreis erweitert sich damit auf die steil wachsende Anzahl von Bauingenieurbüros sowie von Ingenieurberufsschulen, die einen eigenen Kleincomputer besitzen.

3. ZIELE DES NEUEN PROGRAMMSYSTEMS FLOWERS

Anwendungsbereich und angesprochene Benützerkreise sind bei den erwähnten Programmsystemen begrenzt. Beim neuen Programmsystem FLOWERS sollen diese beiden Beschränkungen weitgehend fallen gelassen werden.

Bezüglich Anwendungsbereich soll sich das Programmsystem FLOWERS bei möglichst vielen Problemarten einsetzen lassen, die sich nach der FE-Methode behandeln lassen. Dazu gehört eine Reihe kontinuumsmechanischer und nichtkontinuumsmechanischer, statischer bzw. stationärer und dynamischer bzw. instationärer, linearer und nichtlinearer Probleme des Bau-, des Maschinen- und des Elektroingenieurwesens. Das Programmsystem FLOWERS ist von vornherein so geplant, dass neue Anwendungen der FE-Methode mit einem Minimum an Neuprogrammierung, d.h. unter Verwendung möglichst vieler schon vorhandener Programmteile, implementierbar sind. FLOWERS wird damit, im Gegensatz zu den im letzten Abschnitt besprochenen Programmen, auch noch ein Instrument der Hochschulforschung werden, indem es ein Rahmenprogramm bilden wird, das die Implementation neuer Anwendungen mit verhältnismässig wenig Aufwand ermöglicht.

Bezüglich Anwenderkreis richtet sich das FLOWERS System:

- an Bau-, Maschinen- und Elektroingenieurstudenten die FLOWERS als didaktisches Instrument verwenden. Für diese Benützer werden verschiedene Standardprogrammversionen vorhanden sein, die klar definierte Probleme lösen und einfach zu gebrauchen sind. Wie bei STATIK und FLASH soll diese letzte Forderung mit Hilfe einer möglichst leicht erlernbaren, mittels Syntaxdiagrammen beschriebenen Eingabesprache, einer umfassenden graphischen Ausgabe und einer klaren Dokumentation erreicht werden.

- an Ingenieure aus der Praxis, die das Programm selbständig, jedoch nicht notwendigerweise als Hauptbeschäftigung anwenden wollen. Die Bedürfnisse dieses Benützerkreises entsprechen weitgehend denen der Ingenieurstudenten. Allerdings kommen in der Praxis oft Probleme der Datenaufbereitung und der Resultatweiterverarbeitung vor, die man gerne mit Hilfe von Vor- und Nachlaufprogrammen löst. Besondere Vorkehrungen wurden deswegen getroffen, um die problembezogenen

Eingabedaten wahlweise aus einer manuell oder aus einer maschinell erzeugten Eingabedatei lesen zu können. Dementsprechend können die Ausgabedaten sowohl auf einem von Menschen als auch auf einem von Nachlaufprogrammen leicht lesbaren Ausgabedatei geschrieben werden. Dies erlaubt u.a. die Eingabedaten, z.B. mit Hilfe graphischer Eingabegräte, auf einem eigenen Kleincomputer interaktiv vorzubereiten und die Ausgaberesultate, vielleicht zu Bemessungszwecken, ebenfalls interaktiv weiterzuverarbeiten. Das FLOWERS-System, das im Batch-Betrieb arbeitet und das möglicherweise auf einem entfernten Grosscomputer installiert sein wird ("Distributed Processing") wird dann nur für die zentralen, rechenintensiven, numerischen Berechnungen eingesetzt.

- an Hochschulforscher die auf der Stufe der lokalen Elementmatrizen eigene Entwicklungen austesten und implementieren wollen. Weil es bei der FE-Methode möglich ist, die globale Systembehandlung und die numerische Erfassung der elementeigenen Eigenschaften mittels lokaler Elementmatrizen klar voneinander zu trennen, konnte das FLOWERS-System so ausgelegt werden, dass es relativ leicht sein wird, selbstgeschriebene Elementunterprogramme anzuhängen. Dateneingabe, Zusammensetzung und Lösung der globalen Systemgleichungen, interne Datenorganisation, Iterationsverfahren bei nichtlinearen Anwendungen, graphische Ausgabe, usw. können somit vom FLOWERS- System unverändert übernommen werden.

- an besonders sachkundigen Hochschulforscher, die auf der Stufe des globalen Systems, z.B. bei speziellen nichtlinearen Anwendungen, Eigenentwicklungen implementieren wollen. Solche Benützer werden selbstverständlich, um überhaupt gewisse Programmteile übernehmen zu können, eine tiefgehende Kenntnis des Quellenprogramms und der verwendeten Datenorganisation vom FLOWERS-Programm benötigen. Dies soll erleichtert werden durch eine klare Progammstrukturierung und eine umfassende Dokumentation vor allem in Form von im Programm eingebetteten Kommentaren.

- an Informatik-Studenten, deren Hauptinteresse bei Fragen der Programmierung liegt. Dafür soll das FLOWERS-System ein beispielhaft sauber geschriebenes und optimal struktiertes FORTRAN-Programm werden.

Zu den Zielen, die beim FLOWERS-System nicht allzu stark in Vordergrund stehen, sind Kapazität und z.T. sogar numerische Effizienz zu nennen. Die Möglichkeit einer Unterteilung des Systems in Substrukturen, was bei gewissen Grossproblemen des Flugzeug- oder des Schiffbaus heute als unerlässlich erscheint, ist z.B. nicht geplant. Kapazität und Effizienz sind nämlich Fragen, die in höherem Masse mit der verwendeten Hardware, bei der z.T. noch unabsehbare Fortschritte zu erwarten sind, verknüpft sind (billige Speicher und Prozessoren, "Virtual-Storage", usw.). Benützercomfort und Flexibilität sind hingegen Fragen, die

die Software allein betreffen und die heute sicherlich die grösste Aufmerksamkeit verdienen.

4. SYSTEMAUFBAU

Das Programmsystem FLOWERS besteht aus mehreren sogenannten Programmodulen, aus einer Elementbibliothek und aus einer Reihe von Standardprogrammversionen. Die Programmodule setzen sich aus Unterprogrammen zusammen, die auf der Stufe des globalen Systems und damit weitgehend unabhängig vom behandelten physikalischen Problem arbeiten. Die gleichen Programmodule können folglich für völlig verschiedene Problemarten, wie z.B. Schalenstatik und Wärmeleitungsanalyse eingesetzt werden. Die Elementbibliothek besteht aus einer Anzahl von Unterprogrammen, die für spezifische physikalische Probleme die lokalen Elementmatrizen numerisch bestimmen. Bei linearen kontinuumsmechanischen Problemen sind diese die lokalen Steifigkeits-, Last-, geometrischen Steifigkeits-, Massen- und Spannungsmatrizen der einzelnen Elemente. Die Standardprogrammversionen bestehen aus mehreren Programmodulen an denen die Unterprogramme bestimmter Elementarten angeschlossen sind, so dass spezifische Problemtypen gelöst werden können.

Folgende Programmodule sind z.Z. fertiggestellt oder befinden sich in einer fortgeschrittenen Entwicklungsphase:

SYSIN zur Eingabe und Kontrolle der system- und lastbezogenen Daten sowie zur Berechnung der lokalen Elementmatrizen (siehe Abb. 1).

SOLVE zur Zusammensetzung und Lösung der globalen Systemgleichungen sei es in Form eines linearen Gleichungssystems oder eines Eigenwertproblems.

GRAPH zur graphischen Elementmasche- und Resultatausgabe.

STOUT zur numerischen Resultatausgabe bei statischen bzw. stationären Problemen.

DYNOUT für die Zeitintegration und zur numerischen Resultatausgabe bei dynamischen bzw. instationären Problemen.

Mit diesen Programmodulen dürfte ein grosser Teil der in der Praxis vorkommenden linearen Probleme lösbar sein: Statische Analyse erster und zweiter Ordnung, Stabilitätsanalyse, lineare Dynamik entkoppelter Eigenschwingungen sowie verschiedene stationäre und instationäre Feldprobleme. Zwei weitere noch unbenannte Programmodule für die nicht-lineare statische Analyse und die nicht-lineare dynamische Analyse von Tragwerken befinden sich z.Z. in einer früheren Entwicklungsphase.

Die Elementbibliothek umfasst heute Unterprogramme für Stabelemente in zwei oder drei Dimensionen, für Scheibenelemente, für rotationsymmetrische Ringelemente sowie dreidimensionale Elemente zur Berechnung elektrischer und magnetischer Felder. Weitere Elementunterprogramme für Platten, Schalen, dreidimensionale Kontinua sowie für verschiedene Arten von zwei- und dreidimensionalen Feldproblemen werden demnächst zur Verfügung stehen.

Eine Standardprogrammversion für Scheibenprobleme wurde im Sommersemester 1980 zum ersten Mal von Bau- und Maschinenbauingenieurstudenten der ETH Zürich zu Übungszwecken verwendet.

Die Programmdokumentation ist in Vorbereitung. Sie wird aus einer Benützeranleitung und einer Programmiereranleitung bestehen. Die Benützeranleitung richtet sich an Programmanwender, die nur Standardversionen, ev. mit angeschlossenen Vor- und Nachlaufprogrammen, verwenden wollen. Sie enthält, neben allgemeinen Informationen, die Syntaxdiagramme, welche die Eingabesprache sowohl der Programmodule als auch der verschiedenen Elementtypen festlegen, sowie die Detailbeschreibung der einzelnen Eingabeanweisungen. Die Programmiereranleitung richtet sich an Programmierer die das FLOWERS-System erweitern oder modifizieren wollen und soll in erster Linie als Ergänzung zum Quellenprogramm dienen, wo die notwendige Detailinformationen zu finden sind.

5. SCHLUSSWORT

Die FE-Methode hat in vielen Gebieten der Technik eine derartige Verbreitung gefunden, dass entsprechende einführende Kurse im Angebot der Lehrveranstalltungen zumindest für Bau- und Maschineningenieurstudenten nicht länger fehlen dürfen. Dazu ist es unerlässlich, dass die Studenten selbständige Erfahrungen mit der Anwendung vorhandener FE-Programme sammeln können. Diese Programme müssen ein breites Anwendungsspektrum abdecken, gleichzeitig aber transparent und leicht zu gebrauchen sein. Ähnlich Anforderungen gelten für FE-Programme die für die Praxis bestimmt sind, und zwar vor allem dann, wenn diese von Ingenieuren verwendet werden sollen, die die Verantwortung nicht nur für die Analyse sondern auch für den Entwurf und die Bemessung von Bauwerken oder Maschinen tragen und die somit keine ausgesprochene FE-Spezialisten sein können. Schliesslich ist die FE-Methode ein wichtiges Instrument der Hochschulforschung geworden. Dabei wäre viel geholfen, wenn Neuentwicklungen sich auf einem möglichst flexibles Rahmensystem stützen können, sodass gewisse Probleme, die sich bei ganz verschiedenartigen Anwendungen immer wieder stellen, nicht jedes mal von vorne neu gelöst werden müssen. Mit dem neuen Programmsystem FLOWERS versucht man allen diesen Anforderungen gerecht zu werden.

LITERATUR

[1] E. ANDERHEGGEN, G. ALBERTI, A. LAESSER: "Handbuch der STRESS-Sprache", Institut für Baustatik und Konstruktion, ETH - Zürich, April 1969.

[2] U. WALDER, D. GREEN: "FLASH Benützeranleitung", Institut für Informatik ETH Zürich, FIDES Treuhandgesellschaft, CDC Data Services, 5. Auflage, 1980.

[3] U. Walder: "FLASH: A Simple Tool for complicated Problems", Proc. First Conference on Engineering Software, Southampton, September 1979.

[4] E. ANDERHEGGEN, G. BAZZI, P. MUELLER, J. THEILER, U. WALDER: "STATIK Benützeranleitung", Institut für Informatik ETH Zürich, FIDES Treuhandgesellschaft, CDC Data Services, 2. Auflage, 1979.

[5] E. ANDERHEGGEN: "STATIK: A Computer Programm for Everyday´s Struktural Engineering Applications", Int. Colloquium on Interface between Computing and Design in Structural Engineering, IVBH, Bergamo, August 1978.

[6] E. ANDERHEGGEN: "FLOWERS User´s Manual" (in Vorbereitung)

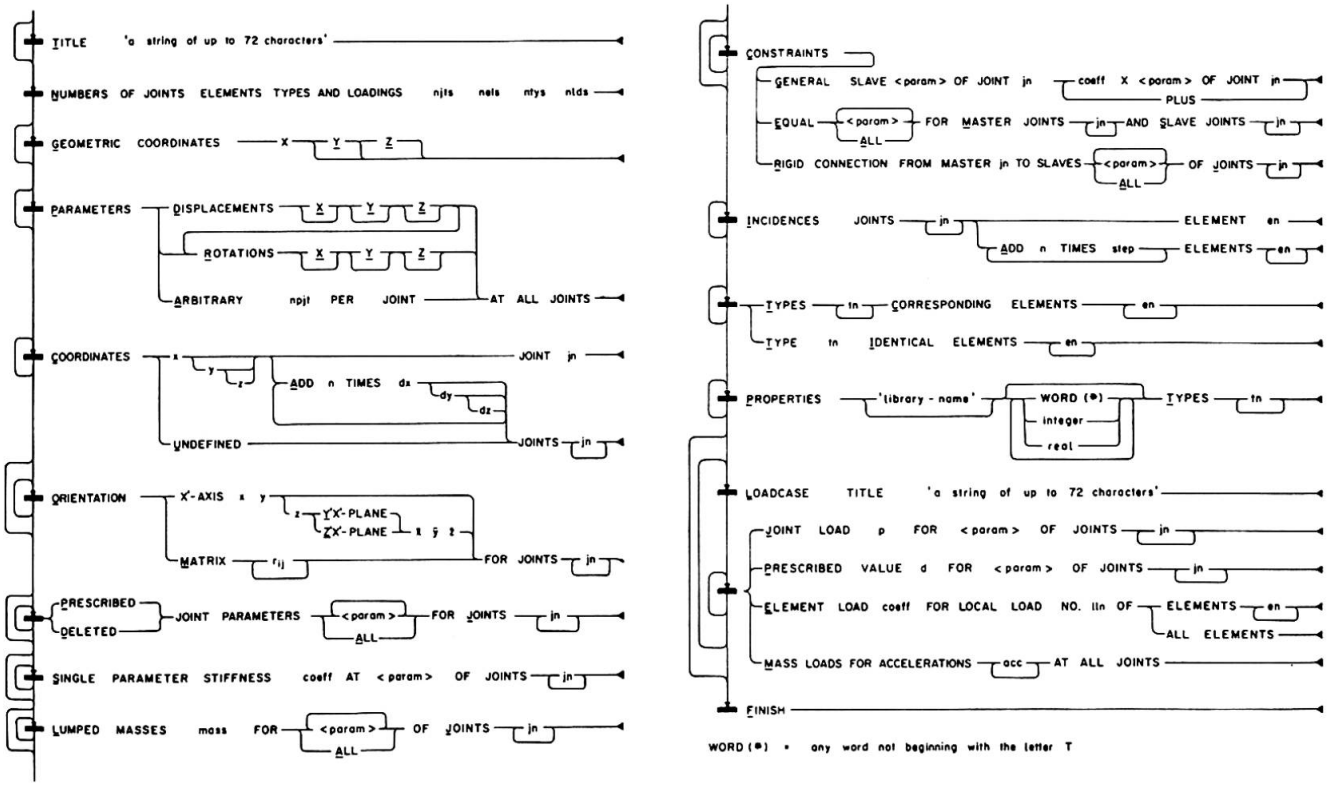

Abb. 1: FLOWERS: Syntaxdiagramm des Moduls SYSIN zur Eingabe von System- und Lastdaten