ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1989

Seria: MECHANIKA z. 92 Nr kol. 1027

XIII MIĘDZYNARODOWE KOLOKWIUM
"MODELE W PROJEKTOWANIU I KONSTRUOWANIU MASZYN"

13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON
"MODELS IN DESIGNING AND CONSTRUCTIONS OF MACHINES"

25-28.04.1989 ZAKOPANE

Klaus SPIES

RWTH Aachen

ENTWICKLUNGSMETHODISCHE UNTERSUCHUNGEN ZUR VERBESSERUNG VON SYSTEMEN UND SYSTEMKOMPONENTEN FÜR DIE MASSENGUTFORDERUNG

Streszczenie. Autor podejmuje problem rozwojowo-metodycznego "poszukiwania" w dziedzinie układów transportowych. Zwraca uwagę na zjawisko ciągłych zmian. Jako podstawowe kryterium wysuwa w istocie kryterium niezawodności. Nie pomija problemu ograniczenia możliwości twórczych ze względów wytwórczych. Swoje idee ilustruje historycznymi przykładami środków transportowych.

Die Entwicklungsmethodik zum Aufsuchen neuartiger Technologien in sich schlüssig darstellen und darüber hinaus auch noch einige Beispiele für ihre erfolgreiche Anwendung anfügen zu wollen, würde den zeitlichen Rahmen, der mir für diesen Vortrag gesetzt ist, sprengen. Ich muß mich daher darauf beschränken, zu versuchen, Ihnen einen überblickartigen und sehr gedrängten Eindruck von den wichtigsten Denkinhalten der Entwicklungsmethodik zu vermitteln, ohne dabei für die einzelnen Aussagen und Thesen auch die entsprechenden Begründungen und Beweise vorstellen bzw. erläutern zu können. Letzteres kann im Grunde genommen nur in einem abgerundeten Vorlesungszyklus erfolgen, wie ich ihn seit einigen Jahren an der RWTH Aachen anbiete. Auf Wunsch der Veranstalter werde ich mich zum überwiegenden Teil mit den methodischen Zusammenhängen und Vorgehensweisen befassen und zum Abschluß lediglich drei kurze Beispiele skizzieren, aus denen die praktische Anwendung der Entwicklungsmethodik bei der Erarbeitung neuartiger Konzeptionen für spezifische Aufgabenstellungen auf dem Gebiet der Massengutförderung erkennbar wird.

Technik ist - ganz allgemein und über längere Zeiträume hinweg betrachtet - ständigen Änderungen unterworfen. Das liegt im wesentlichen daran, daß sich die Anforderungen, welche wir an Maschinen, Geräte, Verfahren und technische Systeme stellen, ständig verändern. Noch vor wenigen Jahrzehnten standen neben den umfeld- und anwendungsbezogenen Anforderungen eine hohe technische Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit, lange Lebensdauer, Wirtschaftlichkeit und vor allem auch Unfallsicherheit im Vordergrund. Heute sind Forderungen hinzugekommen und gewinnen immer mehr an Bedeutung, welche die Humanisierung des Arbeitsplatzes, die Notwendigkeit von Automa-

tion und das Zusammenwirken mit rechnergestützter ProzeBsteuerung sowie den Umweltschutz, vor allem die Verminderung der Umweltbelastungen und -belästigungen betreffen.

Trotz sich ständig ändernder Anforderungsprofile laufen technische Entwicklungen - langfristig und ganz allgemein betrachtet - stets in vergleichbaren Bahnen ab. Grundsätzlich kann man unterscheiden zwischen den beiden Entwicklungsformen "konstruktive Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Technik" und "Aufsuchen völlig neuer Technologien" (Bild 1). Beide Entwicklungsformen gehen meist ineinander über. Im Augenblick ihrer Entstehung ist die Idee zu einer neuen Technologie meist noch sehr allgemein gehalten und in ihrer technischen Ausgestaltung wenig differenziert, denn die Intuition oder Erfindung entspringt stets einem ersten globalen Anforderungsprofil. In der anschließenden Realisierungsphase entstehen die Detailanforderungen (Bild 2). So werden z. B. bereits beim Erstellen der technischen Entwürfe, beim Optimieren der Gestaltungszonen sowie beim Herstellen und Prüfen des Prototyps neue Erkenntnisse gesammelt, die sich in zusätzlichen oder bereits in gegenüber den Ursprungsanforderungen geänderten Erfordernissen niederschlagen.

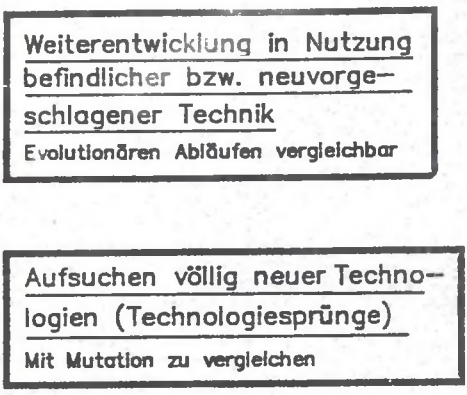


Abb. 1. Formen technischer Entwicklungsablaufe

Tiefgreifendere Änderungen der Anforderungsprofile ergeben sich dann später im betrieblichen Einsatz, d. h. nach dem Erreichen der Betriebsreife einer neuen Technologie, weil sich die Einsatzbedingungen ändern, der Anwendungsbereich erweitert, neue nicht vorhergesehene Anwendungsmöglichkeiten ergeben, das Zusammenwirken mit anderen Maschinen in geschlossenen technischen Systemen erforderlich wird und weil vor allem auch ständig höhere Forderungen bezüglich der Leistungsfähigkeit, Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit gestellt werden. Dadurch entsteht in einer fortgeschrittenen Phase der Entwicklung meist ein Anforderungsprofil, das von den Anforderungen, welche zu der ursprünglichen Idee geführt haben, in einem solchen MaBe abweicht, daß sich vollkommen andere konstruktive Konsequenzen ergeben als bei der ursprünglichen Entwicklung. In dieser Phase kann sich die Entwicklungsrichtung sogar "umkehren" und den mit der ersten Idee angestrebten Vorteilen "entgegenlaufen".

Jede Technologie hat nämlich nur eine begrenzte konstruktive Entwicklungsfähigkeit, deren Ausmaß sich zu Beginn einer Entwicklung noch in keiner Weise abschätzen läßt. Jenseits der Grenze dieser Entwicklungsfähigkeit werden die Nachteile, die man sich mit ausschließlich konstruktiver Anpassung an die sich ständig ändernden Anforderungsprofile vor allem in den Nachbarbereichen einhandelt, größer als der Vorteil, den veränderten Anforderungen entsprechen zu können. Spätestens zu diesem Zeitpunkt ist die weitere rein konstruktive Entwicklungsfähigkeit einer Technik erschöpft und der Übergang auf eine völlig neue, meist grundsätzlich andere Technologie notwendig.

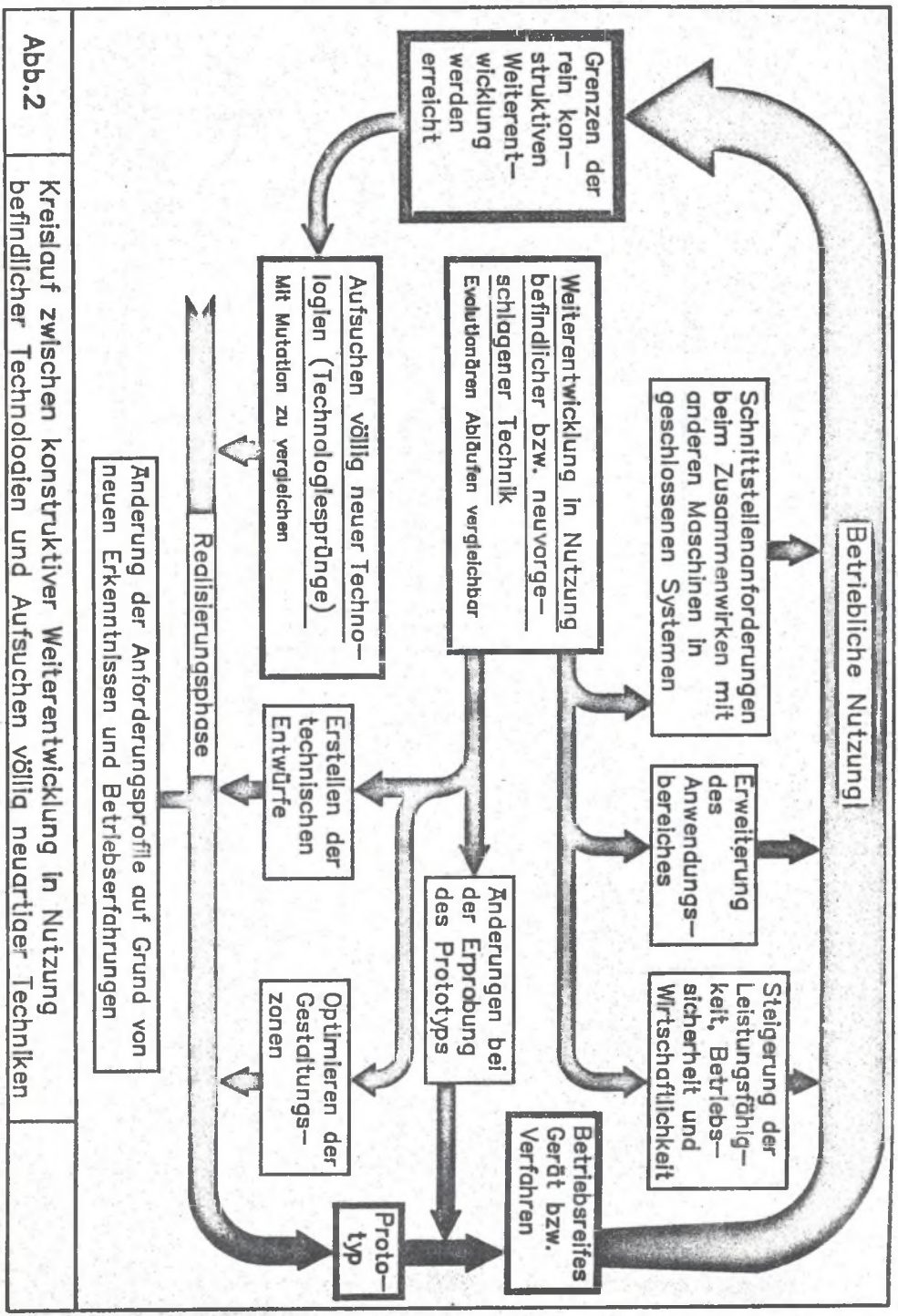


Abb.2 Kreislauf zwischen konstruktiver Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Technologien und Aufsuchen völlig neuartiger Technniken

Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher bzw. neuvorgeschlagener Technik

Evolutionären Abläufen vergleichbar

durch:
- Betriebsbeobachtungen und meßtechnische Erfassung des Betriebsverhaltens
- Modellversuche
- Analytisches Auswerten
- Konstruktives Verbessern im Detail

Moderne Hilfsmittel:

Datenerfassung, -speicherung und -verarbeitung

CAD-Technik

"Finite-Elemente"-Untersuchungen

Simulation auf Großrechnern

Anwendung der Konstruktionsmethodik des Maschinenbaus

Aufsuchen völlig neuer Technologien (Technologiesprünge)

Mit Mutation zu vergleichen

Erfordert:
- Phantasie
- geistige Flexibilität
- Gespür für das grundsätzlich Machbare

Durch methodische Vorgehensweise Zerlegen des "Erfindungsprinzips" in eine größere Zahl überschaubarer und kontrollierbarer Einzelschritte

Abb.3 Unterschiedliche Vorgehensweisen bei den beiden technischen Entwicklungsformen

Das Erkennen derartiger Entwicklungsgrenzen wird mit zunehmender Technisierung, mit fortschreitendem Automatisierungsgrad und durch das Zusammenwirken von Maschinen und Geräten in geschlossenen, häufig vielfältig vernetzten technischen Systemen immer schwieriger. Bei Systembetrachtungen müssen nämlich nicht nur die Anforderungsprofile, welche an die einzelnen Komponenten gestellt werden, sondern auch zusätzliche Anforderungen berücksichtigt werden, die sich aus den jeweiligen Systemverknüpfungen und den dadurch notwendigen Schnittstellenoptimierungen ergeben.

Zwischen den beiden Entwicklungsformen "konstruktive Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Technik" und "Aufsuchen völlig neuer Technologien" zu unterscheiden (Bild 3), ist für den Erfolg eines Entwicklungsvorhabens von außerordentlicher Bedeutung, weil beide Entwicklungsformen vollkommen unterschiedliche Vorgehensweisen erforderlich machen. Die rein konstruktive Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Techniken erfordert systematische Ingenieurarbeit, exaktes Messen, analytisches Auswerten und konstruktives Verbessern im Detail. Die Anwendung rechnergestützter Methoden, vor allem der CAD-Technik, hat für diese Entwickklungsform die in Forschungsinstituten und Unternehmen vorhandenen Entwicklungspotentiale vervielfacht.

Völlig anders ist die Vorgehensweise bei der Entwicklung grundsätzlich neuer Technologien. Neue Technologien entstanden in der Vergangenheit meist durch die Ideen einzelner Erfinder, heute steht Gruppenarbeit im Vordergrund. Das Aufsuchen neuer Technologien erfordert ein hohes Maß an geistiger Flexibilität, Phantasie, Vorstellungsvermögen, einen hohen Grad an Kreativität und ein gewisses, meist aus beruflicher Erfahrung resultierendes Gespür für das grundsätzlich Machbare. Elektronische Rechenanlagen, auch Expertensysteme, sind für diese Entwicklungsform nichg geeignet.

Im Laufe von mehr als zwei Jahrzehnten Entwicklungstätigkeit in der Bergbauzulieferindustrie bin ich mit meinen Mitarbeitern auf Zusammenhänge gestoßen, welche die Grundlage für eine methodische Vorgehensweise zum Aufsuchen grundsätzlich neuer Technologien abgegeben haben. Die Grundkonzeptionen für eine ganze Reihe von Neuentwicklungen, von denen sich die meisten auch im späteren Betriebseinsatz bewährt haben, sind auf diese Weise gefunden worden, z. B. der hydraulisch aktivierte Meißel für Kohlenhobel und Streckennachriß, das Abwinkeln des Strebförderers in die Strecke hinein, der Schildausbau für geringmächtige Flöze, das Konturschlitzen für den Streckenvortrieb und die Minihydraulik für die Steuerung von Ausbauschilden. Zur Zeit werden entwicklungsmethodische Untersuchungen an einem neuartigen Arbeitsprinzip für eine Wasserpumpe durchgeführt, mit dem es beim derzeitigen Stand der Überlegungen möglich sein müßte, Drücke von 5000 bar und mehr zu erzeugen. Mit einem derartigen Gerät könnte die Höchstdrukcwasser-Schneidtechnik neue Impulse bekommen.

Für neuartige, in vielen Fällen sogar unkonventionelle Konzeptionen, die zu neuen Technologien führen sollen, kann im frühen Konzeptstadium natürlich noch keine Gewähr dafür übernommen werden, ob sich eine Technik später beim betrieblichen Einsatz auch bewährt. Aus diesem Grunde können zur Beurteilung von neuen Konzeptionen auch nicht die gleichen Maßstäbe angelegt werden, die man bei betriebsreifen Maschinen und Geräten anzulegen gewohnt ist. Als Bewertungsmaßstab (Bild 4) kann lediglich die Überprüfung der grundsätzlichen Machbarkeit herangezogen werden.

Die methodische Vorgehensweise zum Aufsuchen von Konzeptionen für neuartige Technologien schafft das "Ideenreservoir", aus dem besonders geeignet erscheinende Lösungsalternativen ausgewählt und

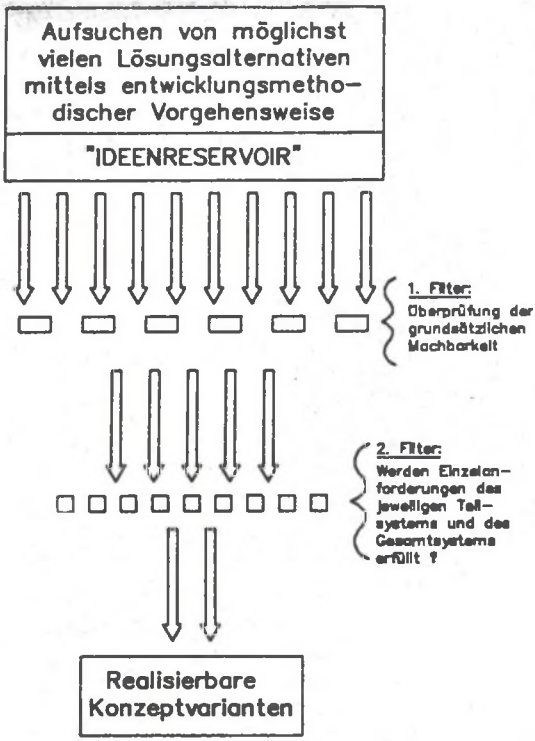
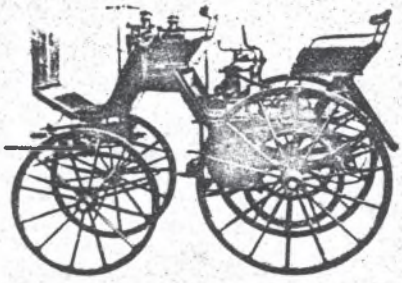


Bild 4. Entwicklungsmethodik

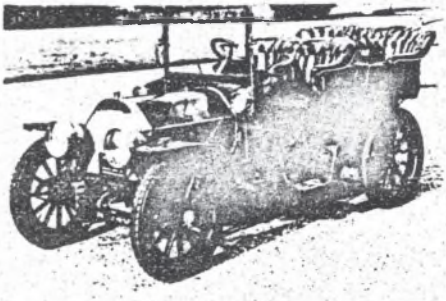
der konstruktiven Weiterbearbeitung zugeführt werden können. Technisch und wirtschaftlich ist diese Form der Vorgehensweise von außerordentlicher Bedeutung. Im frühen Konzeptstadium, wo das metodische Nachdenken über neue Konzeptionen noch so gut wie gar nichts kostet, wird auf diese Weise eine ganze Reihe von Lösungsalternativen erarbeitet, aus denen man im Zuge einer anschließenden Bewertung die am besten geeigneten für die weitere Bearbeitung auswählen kann.

Bei früheren Entwicklungen ist es häufig vorgekommen, daß aus zeitlichen Gründen oder wegen übertriebenen Engagements unmittelbar nach dem Entstehen einer Idee oder Erfindung auch deren praktische Realisierung in Angriff genommen wurde. Diese Vorgehensweise hat den schwerwiegenden Nachteil, daß man sich in einem viel zu frühen Entwicklungsstadium bereits auf eine "Entwicklungsspur" festlegen muß. Für den gar nicht so seltenen Fall, daß sich in einem späteren fortgeschrittenen Entwicklungsstadium unvorhergesehene, mit vertretbarem technischen Aufwand nich zu beseitigende Probleme und Schwierigkeiten einstellen, stehen dann keine anderen Lösungsalternativen zur Verfügung und die Entwicklung muß am Punkte 0 noch einmal neu begonnen werden. Wird jedoch durch Anwendung der entwicklungsmethodischen Vorgehensweise von vornherein eine ganze

Reihe von Alterantivlösungen erarbeitet, so ist nicht nur eine Optimierung im Konzeptstadium, sondern auch der Übergang auf andere Lösungsalternativen möglich, wenn sich herausstellen sollte, daß im fortgeschrittenen Entwicklungsstadium unüberbrückbare Schwierigkeiten auftreten. Darüberhinaus hat sich bei der bisherigen Anwendung der Entwicklungsmethodik gezeigt, daß durch die bevertende Vorauswahl im Konzeptstadium in vielen Fällen Fehler vermieden werden können, die im Laufe einer späteren Entwicklung nicht mehr oder nur mit großem Aufwand zu korrigieren gewesen wären. Je eingehender die Untersuchungen, Vergleiche und Bewertungen im Konzeptstadium, d. h. vor Beginn der eigentlichen Entwicklungsarbeiten geführt werden, um so größer ist die Gewähr dafür, daß eine Entwicklung letztendlich auch zum gewünschten Erfolg geführt werden kann.



Erster Kraftwagen mit Verbrennungsmotor von G. Daimler 1886 1PS



Mercedes-Wagen mit 60PS aus dem Jahre 1903

Bild 5. Von der Motorkutsche zum Automobil

In Maschinenbau werden schon seit mehr als 20 Jahren Methoden zum gezielten Planen, Konzipieren, Entwerfen und Konstruieren angewendet und ständig verbessert. In der Bundesrepublik haben diese Methoden in den VDI-Richtlinien 2222 und 2221 ihren Niederschlag gefunden. Die hier vorgestellte Entwicklungsmethodik, die im wesentlichen darauf ausgerichtet ist, vor dem Hintergrund vorgegebener Anforderungsprofile neuartige, in vielen Fällen auch unknoventionelle Technologien zu finden, stellt eine sinnvolle Ergänzung der VDI-Richtlinien dar. Sie sollte immer dann zur Anwendung kommen, wenn eine Technologie in die Nähe ihrer Entwicklungsgrenzen gekommen ist, jenseits derer es technisch nicht mehr sinnvoll und wirtschaftlich nicht mehr vertretbar ist, die Entwicklung auf ausschließlich konstruktiver Basis fortzuführen.

Die Methodik stützt sich auf zehn Grundsätze, von denen hier - wie bereits erwähnt - nur die wichtigsten kurz vorgestellt werden können:

Die Zahl der vollkommen neuen physikalisch-technischen Wirkungsmechanismen, die in den letzten fünf Jahrzehnten ge- bzw. erfunden wurden, ist außerordentlich gering. Neben der Nutzbarmachung der Kernenergie, der Halbleitertechnik, dem Laserprinzip und der Gentechnologie können nur noch wenige weitere, grundsätzlich neue Wirkungsmechanismen genannt werden, deren Auffinden in den meisten Fällen einen außerordentlich hohen technischen und wirtschaftlichen Aufwand erforderlich gemacht hat. Alle anderen "sogenannten" neuartigen Technologien sind neue, vorher in dieser Form nicht bekannt gewesene Kombinationen bereits vorbekannter technischer Bausteine, Verfahrenselemente bzw. Wirkungsmechanismen.

Diese Aussage ist nicht im patentrechtlichen Sinne sondern lediglich im Hinblick auf die Entwicklungsmethodik gemeint. Patentrechtlich gesehen läßt sich in den meisten Fällen auch beim Zusammenfügen von Bausteinen bzw. Verfahrenselementen früherer Technologien immer noch die notwendige Erfindungshöhe nachweisen.

Ausgehend von diesem Grundsatz kann man somit neuartige Technologien systematisch aus Bausteinen und Verfahrenselementen vorbekannter Techniken zusammensetzen, wobei die ausgewählten Bausteine und die aus ihnen zusammengesetzte neue Technik den Funktionen und Teilfunktionen entsprechen müssen, die sich aus dem vorgegebenen Anforderungsprofil ergeben. Es gilt also auch hier: Die Beschäftigung mit der Vergangenheit schafft Inspiration für die Zukunft.

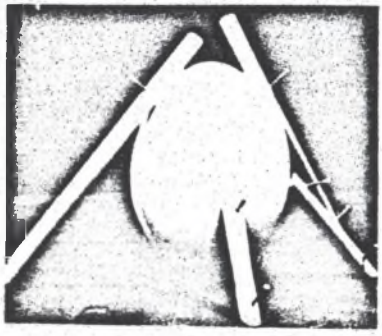
Bei den Recherchen, die notwendig sind, um systematisch geeignete Bausteine und Verfahrenselemente vorbekannter Techniken zu suchen, stößt man insbesondere bei der Durchsicht der Patentliteratur oft auf sehr alte Vorschläge, deren Grundprinzipien für die zu bearbeitende Entwicklungsaufgabe geeignet zu sein scheinen. In derartigen Fällen ist es dann unbedingt notwendig, die alten Grundprinzipien auf den neuesten Stand der Technik "anzuheben". Weiterhin ist es von außerordentlicher Bedeutung, darauf zu achten, daß Technologiebausteine, die man entwicklungsmethodisch zusammenfügt, auch für ein Zusammenwirken in einem geschlossenen System geeignet sind. Gerade gegen diesen Grundsatz wurde und wird häufig verstoßen, wie ich Ihnen an einem sehr einfachen Beispiel darlegen möchte (Bild 5). Die Grundkonzeption des Automobils entstand - entwicklungsmethodisch gesehen - dadurch, daß der kurz vorher erfundene Benzinmotor mit dem damals üblichen Landfahrzeug, der Droschke, kombiniert wurde. Ohne damit die Genialität, die Verdienste und die Pioniertaten der Erfinder der ersten Automobile auch nur im geringsten einschränken zu wollen, gibt das Kombinieren der beiden Technologiebausteine Benzinmotor und Droschke ein gutes Beispiel dafür ab, daß beim Zusammenfügen auf das optimale Zusammenwirken in dem neugeschaffenen technischen System geachtet werden muß. Die Entwicklungsfähigkeit der bereits zwei Jahrtausende alten Droschke reichte nicht mehr aus, um auch noch auf das Zusammenwirken mit dem Benzinmotor in dem neuen geschlossenen System Automobil abgestimmt werden zu können. Erst als man etwa 20 Jahre später eine völlig neue Basistechnologie "Landfahrzeug" geschaffen hatte, wurde das optimale Zusammenwirken und damit der Siegeszug des Automobils möglich.

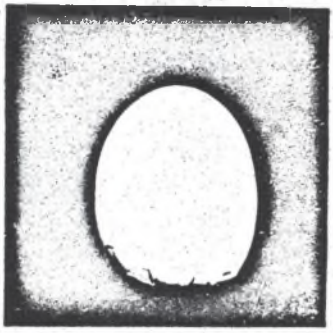
Das vorbeschriebene "Puzzlespiel" wird im Konzeptstadium durchgeführt, in dem lediglich Ablauf, Arbeitsweise und Funktionen einer neuen Technologie ersichtlich, jedoch noch nicht die Gestaltungszonen im einzelnen erkennbar sind. Auf diese Weise findet vor Einsetzen der eigentlichen Entwurfs- und Konstruktions-arbeiten bereits eine erste Optimierung statt.

Wenn - wie u. a. auch das Beispiel Droschke zeigt - eine über lange Zeiträume hinweg lediglich konstruktiv weiterentwickelte Technologie in die Nähe ihrer Entwicklungsgrenzen gekommen ist, können durch Anwendung der Entwicklungsmethodik Standortanalysen durchgeführt werden, die erkennen lassen, ob es notwendig ist, auf eine völlig andere Technologie überzugehen (Bild 6). Ich bitte um Ihr Verständnis für die plakative Form der Darstellung, mit der ich Ihnen diesen besonders wichtigen Grundsatz der Entwicklungsmethodik näher bringen möchte. Es ließen sich aus der neueren Technikgeschichte und aus der Thematik dieser Tagung zahlreiche Detailbeispiele anführen, mit denen belegt werden könnte, welche Nachteile entstehen, wenn gegen diesen Grundsatz verstoßen wird. Damit möchte ich die für sich selbst sprechende Abbildung recht-

fertigen, die jeder mit Entwicklungsfragen befaßte Konstrukteur in seinem Büro aufhängen sollte.

Die Entwicklungsmethodik ist an den kreativen Denkprozeß angepaßt, sie gestattet es, Such- und Kombinationsprozesse, die im Unterbewußten ablaufen und als Aha-Effekte oder Intuitionen ins Bewußtsein gelangen, auf ihrer ganzen Länge im Bewußten ablaufen zu lassen und damit gezielt und kontrolliert durchführen zu können. Der "Erfindungssprung", der in der Vergangenheit nur mit außergewöhnlicher Kreativität begabten, häufig sogar nur genialen Ingenieuren vorbehalten war, wird durch die Anwendung der Entwicklungsmethodik in eine Reihe kleiner, kontrollierter Einzelschritte zerlegt, welche





Wenn die Grenzen rein konstruktiver Weiterentwicklung einer Technologie erreicht sind,

muß nach einer vollkommen neuen Technik gesucht werden.

Bild 6. "Entwicklungsmethodik"

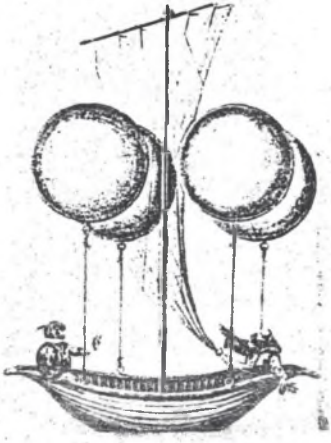


Bild 7. Neuartige Konzeptionen dürfen nicht gegen physikalisch--technische Gesetzmäßigkeiten verstoßen

von Ingenieuren mit normaler Kreativität nachvollzogen werden können. Der Fundus der Möglichkeiten, aus vorbekannten Technologiebausteinen neue Techniken zusammenzusetzten, ist nahezu unerschöpflich. Eine Grenze wird lediglich durch die physikalisch-technischen Gesetze gezogen (Bild 7). Solange nich gegen die Naturgesetze verstoßen wird, hängt die Zahl der auffindbaren Lösungsalternativen von der Sorgfalt der Recherchen ab, mit denen vor dem Hintergrund der vorgegebenen Anforderungsprofile nach Technologiebausteinen gesucht wird. Die Entwicklungsmethodik stellt von daher gesehen eine sinnvolle Ergänzung der CAD-Technik und der Expertensysteme dar, weil elektronische Rechenanlagen nicht kreativ sein können.

Obwohl die vorbeschriebene Entwicklungsmethodik bisher vorwiegend bei der Entwicklung von Betriebsmitteln für den untertägigen Steinkohlenbergbau und von technischen Einrichtungen für die Höchstdruckwasser-Schneidtechnik angewandt wurde, lassen sich auch einige Entwicklungen aus dem Gebiet der Fördertechnik anführen, die in den Rahmen der heutigen Veranstaltung passen. Bei Gummigurt-Förderern, wie sie beim Transport von Massengut, insbesondere auch im Braunkohlen-Tagebau, benutzt werden, reicht die weitere Entwicklungsfähigkeit in den meisten Fällen noch aus, um den Forderungen nach immer höherer Leistungsfähigkeit, Lebensdauer und Wirtschaftlichkeit ausschließlich durch konstruktive Maßnahmen nachkommen zu können. Es gibt aber auch Anwendungsfälle, bei denen sich die Anforderungsprofile derart ändern, daß auf neuartige Technologieformen übergegangen werden muß, wie das erste der drei Beispiele, die ich Ihnen anschließend für die erfolgreiche Anwendung der Entwicklungsmethodik vorstellen möchte, zeigt. Wenn der Aufgabeförderstrom auf einen Gurtförderer im zeitlichen Verlauf sehr starken Schwankungen unterworfen ist und lange Zeitabschnitte mit sehr geringem Aufgabeförderstrom vorhanden sind, kann es bei der Überbrückung großer Förderwege zweckmäßig sein, das Prinzip eines Gurtförderers von einem Stetig- in einen Pendelförderer umzugestalten (Bild 8). Aus den Technologiebausteinen Schlauch und Fördergurt läßt sich das Wirkungsprinzip eines Schlauchförderers zusammensetzen. Ein derartiger Förderer, der für verschiedene Anwendungszwecke im Detail durchaus unterschiedlich aufgebaut sein kann, ist auch schon bei kleineren Abmessungen in der Lage, stündliche Fördermengen von tausend und mehr Tonnen Massengut zu bewältigen. Er ist im Gegensatz zum normalen Gurtförderer kurvengängig und gestattet es darüber hinaus, bei verzweigten Förderwegen mit relativ geringem Investitionsaufwand eingesetzt zu werden. Die Zusatzanforderungen "stark schwankender Aufgabestrom", "Kurvengängigkeit" und "verzweigtes Förderwegnetz" waren beim Gurtförderer durch rein konstruktive Maßnahmen nicht mehr zu erfüllen und machten den Übergang auf eine neuartige Technologie notwendig.

Wegen ihrer besonderen Robustheit werden in nahezu allen Bergbaurevieren der Welt Kettenkratzerförderer eingesetzt, die in Modernen Hochleistungsbetrieben Längen von 300 m und in einigen Fällen sogar mehr erreichen. Die Unregelmäßigkeit der Lagerstättenausbildung bringt es mit sich, daß diese Förderer raumbeweglich, d. h. in horizontaler und vertikaler Richtung abwinkelbar ausgebildet sein müssen. Das bedeutet, daß ausschließlich Rundgliederketten zum Einsatz kommen können. Obwohl die Technologie dieser Ketten durch die Entwicklung spezieller Werkstoffe und besonderer, teilweise vollautomatischer Fertigungsverfahren, mit denen extrem niedrige Fertigungstoleranzen erreicht werden können, auf einen außerordentlich hohen technischen Stand gebracht worden ist, lassen Standzeiten und Lebensdauern immer noch sehr zu wünschen üb-

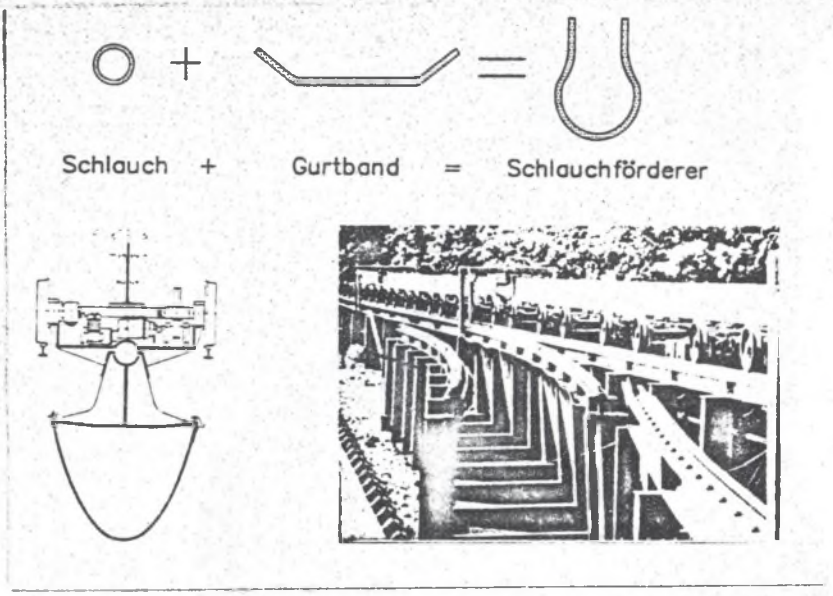


Bild 8. Schlauchförderer

Bild 9. Bergbaukette mit schweren Beschädigungen

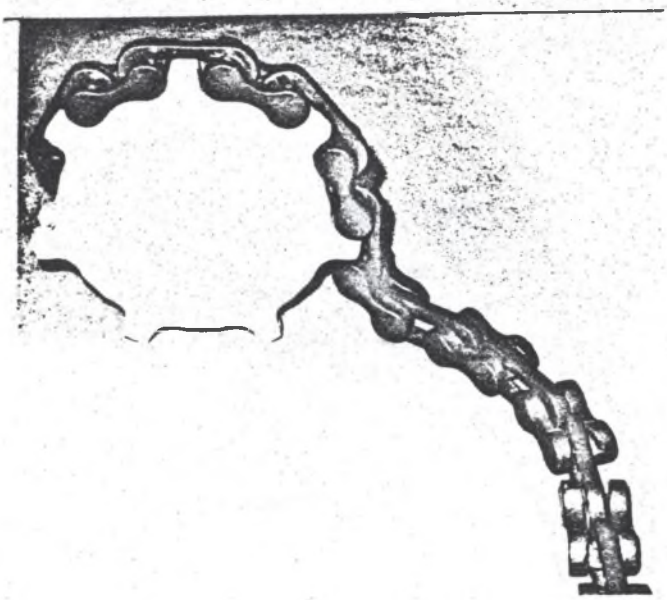


Bild 10. Verformungs- und verschleißarme raumgelenkige Kette für die Leistungsübertragung

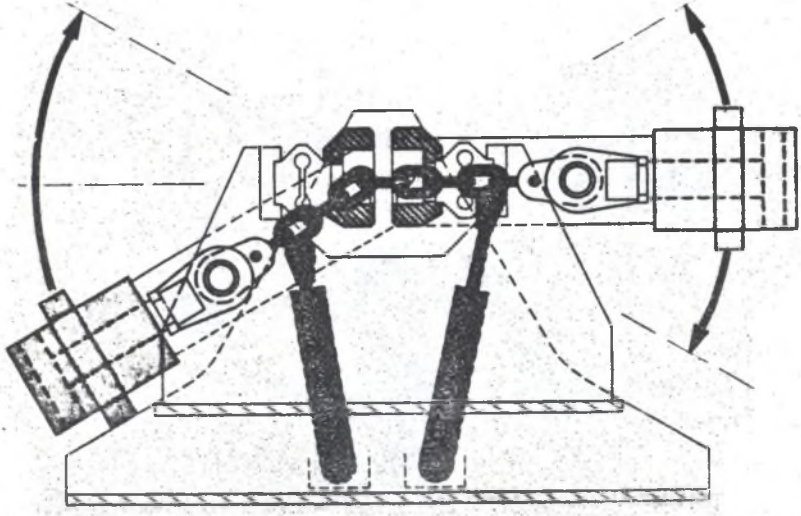


Bild 11. Neuartiger Prüfstand zur Untersuchung des Ketteneinlaufs in das Kettenrad

rig. Die heute wichtigste Ursache für die Begrenzung der Lebensdauer liegt darin, daß - abhängig von der Beanspruchungsart - nach mehr oder weniger langer Betriebszeit die Teilung des die Leistung übertragenden Taschenrades und die Teilung der Kette wegen bleibender Verformungen der Kettenglieder nicht mehr übereinstimmen. Hierovn geht - sich schnell eskalierend - eine ganze Reihe von unterschiedlichen Beschädigungsformen aus (Bild 9). Rundgliederketten sind im Gegensatz zu Laschenketten erheblich dehnfähiger, weil der Kettenbug auf Biegung beansprucht wird. Hinzu kommt, daß die Leistungsübertragung durch Taschenräder ebenfalls sehr problematisch ist.

Eine entwicklungsmethodische Untersuchung führte zu dem Ergebnis, daß die weitere Entwicklungsfähigkeit der Rundstahlgliederketten für Kettenkratzerförderer durch rein konstruktive Verbesserungen, durch Weiterentwicklung der benutzten Werkstoffe und Verbesserung der Fertigungsverfahren nur noch außerordentlich begrenzt ist. Eine tiefgreifende Verbesserung wäre demnach nur durch Übergang auf eine völlig andere Kettentechnologie möglich. Der entwicklungsmethodisch notwendige Blick zurück in die Vergangenheit zeigte, daß Rundgliederketten - physikalisch gesehen - ursprünglich für die Kraftübertragung entwickelt worden waren und daß bei ihrer Nutzung zur Leistungsübertragung vielfältige Probleme auftreten. Durch unsere heutige hoch entwickelte Fertigungs- und Werkstofftechnik konnte dieser konzeptionelle Mangel lediglich abgemildert, jedoch nicht beseitigt werden. Nachdem die Funktionen und Teilfunktionen für das Zusammenwirken von Kette und Kettenrad festgelegt worden waren, wurde systematisch aus Bausteinen der Vergangenheit eine neuartige Kette zusammengesetzt, die bereits im Konzeptstadium für die Leistungsübertragung optimiert werden konnte (Bild 10). Günstigere Einlaufflächen, die Möglichkeit wegen des Fortfalls der Schweißung bei den die Leistung übertragenden Kettengliedern völlig andere und wesentlich verschleißfestere Werkstoffe benutzen zu können, sowie die Verminderung der bleibenden Dehnung auf etwa 20%, das sind die wesentlichen Vorteile der neuen Kettentechnologie. Um das Einlaufverhalten der Ketten in die Kettenräder vergleichen, reproduzierbar untersuchen und letztendlich auch unter Simulation betrieblicher Einsatzbedingungen optimieren zu können, wurde ein neuartiges Kettenprüfverfahren mit dazugehörigem Prüfstand entwickelt. bei dem der Ketteneinlauf in das Kettenrad in kinematischer Umkehrung nachgebildet wird (Bild 11). Zwei unabhängig voneinander schwenkbare Ausleger legen das mit voller Zugkraft belastete Kettenstück in die Kettentasche ein und bauen die Kraft vor dem Ausheben auf die betrieblich übliche Vorspannung ab (Bild 12). Am Institut fur Bergbaukunde II der RWTH Aachen sind vergleichende Untersuchungen angelaufen, um die konstruktive Ausgestaltung der Kette im Detail festzulegen und die günstigsten Werkstoffpaarungen zu finden.

In der Technik, vor allem unter den rauhen Einsatzbedingungen des Bergbaus, werden häufig mobile Stetigförderer benötigt. Bisher war es in derartigen Bedarfsfällen üblich, die Fördermittel auf Kufen, Raupen oder Rädern anzuordnen. Erst eine entwicklungsmethodische Untersuchung führte zu dem "Aha-Effekt", daß ein Stetigförderer und ein Raupenfahrzeug auf dem gleichen physikalisch-technischen Wirkungsmechanismus beruhen (Bild 13). Senkt man nämlich einen Stetigförderer auf sein Unterband oder seinen Untergurt ab, so wird er sich beim Einschalten der Antriebe vorwärts bewegen. Generationen von Bergingenieuren haben - häufig auf der gleichen Grubenfahrt - Raupenfahrwerke und Kettenkratzerförderer gesehen, sich eingehend mit deren Problemen und ihrer Beseitigung beschäftigt,

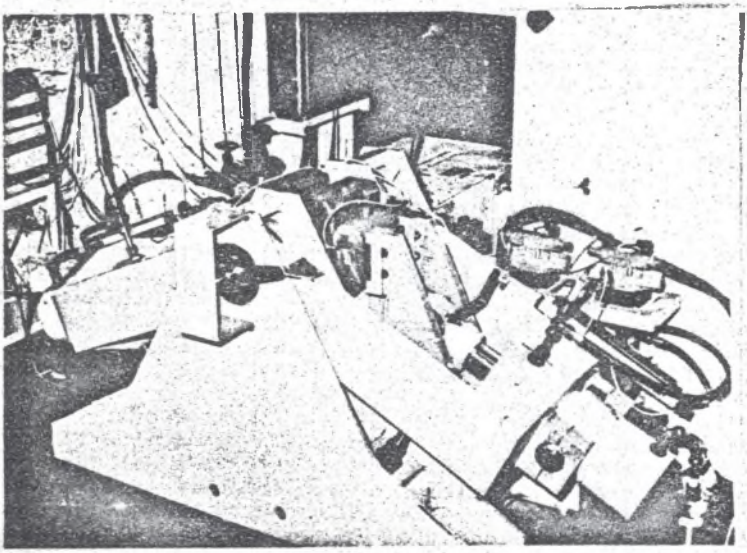


Bild 12. Neuartiger Prüfstand zur Untersuchung des Ketteneinlaufs in das Kettenrad

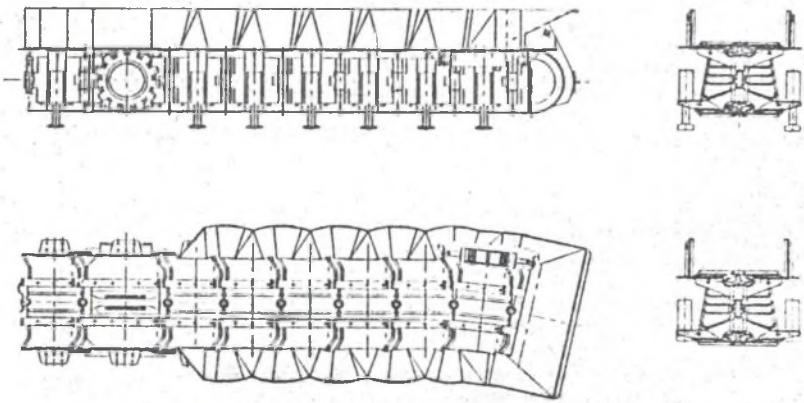


Bild 13. Mobilförderer der Firma Klöckner Becorit

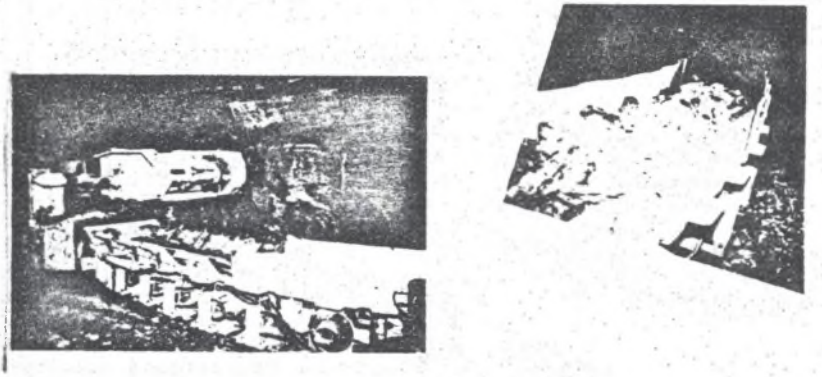


Bild 14. Mobilförderer auf einer Steinkohlengrube in Australien

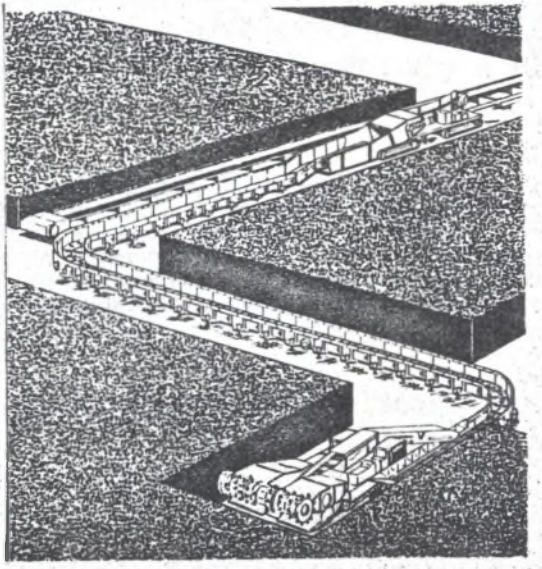


Bild 15. Einsatz des Mobilförderers im australischen und amerikanischen Steinkohlenbergbau

jedoch nicht den Einfall bzw. die Einsicht gehabt, daß Raupenfahrwerk und Kettenkratzerförderer von der Grundkonzeption her gesehen einunddasselbe sind.

Nachdem eine entwicklungsmethodische Untersuchung diesen Zusammenhang aufgedect hatte, war es nicht mehr schwierig, einen geeigneten Förderer aus dieser Idee zu entwickeln (Bild 14). Gegenwartig sind mehrere dieser Förderer, die von der Firma Klöckner-Becorit in Recklinghausen entwickelt und gebaut worden sind, im amerikanischen und australischen Steinkohlenbergbau mit Erfolg eingesetzt (Bild 15). Zur Zeit wird eine Weiterentwicklung betrieben, aus dem kurvengängigen Mobilförderer eine räumlich in allen Richtungen abwinkelbare geländegängige Raupe zu bauen, die - einmal in Position gebracht - große Mengen an Massengut abfördern kann.

Die Entwicklungsmethodik zum Aufsuchen neuartiger Technologien, die ich Ihnen wegen der Kürze der zur Verfügung stehenden Zeit leider nur in ihren wichtigsten Umrissen vorstellen konnte, geht davon aus, daß es zwei Formen technischer Entwicklung gibt, nämlich die kons-ruktive Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Technologien und das Aufsuchen völlig neuartiger Techniken. Für beide Entwicklungsformen sind vollkommen unterschiedliche Vorgehensweisen erforderlich. Auch diese Erkenntnis ist keineswegs neu, sie ist sogar alter als die Ingenieurwissenschaften. Der lateinische Begriff "ingenium", auf den unsere Berufsbezeichnung Ingenieur zurückgeht, hat bekanntlich zwei Bedeutungen: "Scharfsinn" und "sinnreiche Erfindung". "Scharfsinn" kennzeichnet die Vorgehensweise bei der Weiterentwicklung in Nutzung befindlicher Technologien, "sinnreiche Erfindung" steht für das Aufsuchen völlig neuartiger Technologien.

ПЕРСПЕКТИВНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СЛУЖАЩИЕ МОДИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ И ИХ КОМПОНЕНТОВ

Р е з ю м е

Автор выдвигает проблему перспективно-методических "поисков" в области транспортных систем. Обращает внимание на явление постоянных изменений. В качестве основного, выдвигается критерий надёжности. Не пренебрегается проблема ограничения творческих возможностей принимая во внимание производительность. Свои идеи автор иллюстрирует историческими примерами транспортных средств.

EVOLUTION-METHODICAL RESEARCH FOR MODIFICATION OF TRANSPORT SYSTEMS AND THEIR COMPONENTS

S u m m a r y

The paper deals witz evolution-methodical "search" in the field of transport systems. The phenomenon of continuous changes is stressed. The basic criterion is in practice infallibility criterion. The problem of limitation of creative possibilities on manufacturing is dealt with as well. The author's ideas are illustrated with historical examples of different means of transport.

Wpłynęło do Redakcji 9.IX.1988 r. Recenzent: prof. dr inż. J. Dietrych