

Untersuchungen und mögliche Arbeits-
schritte zum Thema

"Künstliche Intelligenz: Rechnersehen und
-steuerung dynamischer Systeme"

E.D. Dickmanns

HSBwM / LRT / WE 13 / IB 80-1

Untersuchungen und mögliche Arbeitsschritte zum Thema
"Künstliche Intelligenz: Rechnersehen und -steuerung
dynamischer Systeme"

Gliederung

1. Einleitung
2. Untergliederungsgesichtspunkte
3. Ortsfeste Kamera
 - 3.1 feste Blickrichtung
 - 3.1.1 Bewegung auf einer geraden Linie
 - 3.1.2 Bewegung in einer Ebene (2 transl. + 1 rotat.)
 - 3.2 variable Blickrichtung
 - 3.2.1 Bewegung auf einer geraden Linie
 - 3.2.2 Bewegung in einer Ebene
4. Mitbewegte Kamera
 - 4.1 ohne stochastische Störungen
 - 4.1.1 Blickrichtung fest relativ zum gesteuerten Objekt
 - 4.1.2 Blickrichtung gesteuert
 - 4.2 mit stochastischen Störungen
5. Versuchsaufbauten
 - 5.1 reine Rechnersimulation mit PS2
 - 5.2 Stab/Wagen-Modellregelstrecke
 - 5.3 Satelliten-Modellregelstrecke
 - 5.4 Koordination inertial/optische Meßwertverarbeitung am DBS

1. Einleitung

Die Entwicklung der Sensortechnik und der Elektronik/Informationsverarbeitung hat einen Stand erreicht und läßt in naher Zukunft Weiterentwicklungen erwarten, die eine der Hauptinformationsquellen biologischer Systeme zur Deutung der Umwelt, die elektromagnetischen Felder, deren in unser Auge reflektiertes "Licht" unser "Weltbild" induzieren, mehr und mehr technischen Systemen direkt zugänglich machen kann. Die Deutung dieser Umweltinformationen in einer korrekten, d.h. dauerhaft widerspruchsfreien Art muß mühsam gelernt werden und die menschliche Rasse hat diesen Prozeß bei weitem nicht abgeschlossen, abgesehen davon, daß jedes Individuum ihn für seinen Teil der Welt selbst vollziehen muß. Eine der Kulturleistungen des Menschen besteht darin, durch kritische Prüfung von hypothetischen Deutungen ein System von bisher nicht falsifizierten "Naturgesetzen" erarbeitet zu haben (Poppers Welt 3), das neue Ereignisse sinnvoll deutbar macht und dem Menschen erlaubt, (in begrenztem Umfang) steuernd einzugreifen.

Bei diesem steuernden Eingreifen lassen sich Aufgaben sehr unterschiedlichen Komplexitätsgrades unterscheiden z.B. a) Halten eines Regenschirmes so, daß ein möglichst geringer Teil des Körpers naß wird oder b) Steuern eines Autos durch Stadtverkehr oder c) Kurshaltung eines Schiffes auf dem Ozean. Bei der letztgenannten, einfachen Aufgabe wird aufgrund einer Meßgröße eine Steuergröße betätigt. Die Meßgröße kann durch einen speziellen Sensor (z.B. Magnetkompaß) direkt ermittelt werden, aber auch durch Messung der Sonnenrichtung bei Kenntnis der örtlichen Uhrzeit, die bei Kenntnis der Jahreszeit und des Orts, an dem man sich befindet, aus der Höhe des Sonnenstandes abgeschätzt werden kann. Das Meßgerät Uhr wird hierbei durch eine zweite Informationsbeschaffung auf optischem Weg bei Vorliegen eines hier relevanten Umweltmodells ersetzt. Das Umweltmodell ist der Zusammenhang zwischen Elevation der Sonne, geographischem Ort (genauer: Breite) und Jahreszeit (d.h. Neigung der Erdachse gegenüber der Sonnenstrahlung). Weitere "astronomische Kenntnisse", d.h. ein Umweltmodell für den Sternenhimmel, wären für optische Navigation bei Nacht von Vorteil. Die Genauigkeit des Steuervorgangs hängt da-

bei entscheidend von der Güte des Umweltmodells ab (z.B. beim Magnetkompaß: Kenntnis des Magnetfeldes der Erde und seiner Anomalien (Massenkonzentrationen etc.)).

Aufgabe a) erfordert zunächst die Bestimmung von Windrichtung und Regenrichtung infolge der Windstärke, womit aus der Kenntnis der Schirmgröße und -form das Positionierungsproblem gelöst werden kann. Ist der Weg durch den Regen nicht zeitkritisch und durch die Lichtverteilung am Himmel zu erkennen, daß es sich bei dem Regen nur um einen Schauer handelt, so dürfte es zweckmäßig sein, die Ortsbewegung zu unterbrechen und sich unter den Schirm zu kauern (vorausgesetzt er ist groß genug) bis der Regen vorüber ist. [Bei dieser Schutzpositionierungsaufgabe ist eine Kenntnis der Uhrzeit außer für die Randbedingung zur Strategieentscheidung völlig irrelevant.]

Aufgabe b) erfordert ein sehr komplexes Modell von der Umwelt (Verkehrsteilnehmertypen, Deutung der ortsgebundenen Informationsdarstellungen, allg. Verhaltensregeln, räumliches Sehen mit Schätzen von Relativgeschwindigkeiten, eigener Fahrzeugzustand, Fahrbahnzustand etc.), das rasche dynamische Veränderungen zu erkennen gestatten muß. Der optische Informationskanal spielt dabei eine überragende Rolle und liefert in Zusammenhang mit gespeicherter "Umweltkenntnis" viele wesentliche Teilinformationen zur Steuerung. - Konventionelle technische Regelsysteme erfassen mit speziellen Sensoren einzelne das System charakterisierende Größen und beeinflussen nach einer meist recht simplen Datenverarbeitung die Stellgrößen. Hiermit wurden erstaunliche Ergebnisse erreicht wie z.B. vollautomatische Flugzeuglandungen, Rendezvous in Erdumlaufbahnen etc. Die Sensorpakete und die technischen Einrichtungen zur Ermöglichung der Erfassung einzelner Meßgrößen (z.B. ILS-Landehilfen) sind oft enorm aufwendig.

Wie die Natur uns bei sehenden Lebewesen vorführt (z.B. Insekten, Vögel, Fische, Landtiere) sind sehr leistungsfähige Systeme zur Steuerung komplexer dynamischer Vorgänge auf kleinem Raum zu realisieren. Unsere technischen informationsverarbeitenden Systeme und Sensoren sind auf dem Weg zu ähnlichen Packungsdichten wie im

organischen Bereich. Da sich auch die Kostensituation günstig zu entwickeln scheint, ist zu erwarten, daß ein Hauptstrom der technischen Entwicklung auf unserem Planeten die Kopplung der Datenverarbeitung mit der Informationsgewinnung aus dem Feld der an jedem Ort aus allen Richtungen eintreffenden elektromagnetischen Strahlung (in gewissen Frequenz- und Intensitätsbereichen) umfassen wird; das entsprechende Schlagwort wäre "Rechnersehen". Die Frequenzen müssen nicht mit denen des "sichtbaren Bereichs" für den Menschen identisch sein. Diese Entwicklung steht ganz an ihrem Anfang und hat neben dem Hardware- einen ganz wesentlichen Software-Aspekt. Mit diesem wird sich das Institut für Systemdynamik und Flugmechanik der HSBwM/LRT bei der speziellen Anwendung auf die automatische Steuerung ortsbeweglicher dynamischer Systeme befassen. Hauptziel ist dabei nicht die Automatisierung von Einzelaufgaben, sondern die Erarbeitung komplexer Erkennungs-, Verknüpfungs- und Verarbeitungsalgorithmen mit möglichst großem Wachstumspotential bezüglich der Anwendungsbereiche; die Entwicklung erfolgt natürlich an konkreten Einzelaufgaben. [Es gibt Hypothesen, nach denen auch in der organischen Entwicklung die Gehirn- und Bewußtseinsbildung in Zusammenhang mit Ortsbewegung und Sehen vonstatten ging.]

Die Menge aller zur aufgabengerechten Steuerung eines speziellen dynamischen Systems erforderlichen Informationen heiße "erforderlicher Wissensumfang für die Aufgabe". Derjenige Teil, der zur Deutung aktueller Meßdaten erforderlich ist, heiße "Hintergrundwissen"; aus ihm wird durch Verknüpfung mit den "aktuellen Daten" die "Bewußtseinslage" erstellt. Aus ihr ergeben sich mit den programmierten Steuer- und Regelalgorithmen ("fachliches Können") die Werte der Steuerfunktionen; mit diesen werden die zu erwartenden neuen Meßdaten als geschätzte aktuelle Daten auf der Basis des Hintergrundwissens (Prozeßmodell) abgeschätzt. Paßt diese Vorausschätzung zu den dann eintreffenden neuen aktuellen Daten, wird der relevante Teil des Prozeßmodells (Weltbild) bestätigt; paßt er nicht, so sind im Prozeßmodell Parameter anzupassen bzw. aus einem Elementevorrat ergänzende bzw. neue Modellteile hinzuzufügen. eine längerfristige Ausführung der Aufgabe ist nur sinnvoll, wenn ein hinreichend gutes Modell für die Steuerungsaufgabe gefunden und die Zielsetzung mit

vertretbarem Rechenaufwand erreicht werden kann.

Dieser Ablauf kann durch mehrere hierarchisch überlagerte Steuerungs- und Überwachungsebenen dargestellt werden (Bild 1). Die konkreten Inhalte der einzelnen Blöcke in Abhängigkeit von der jeweils vorliegenden Aufgabenstellung herauszufinden und algorithmisch zu erfassen, ist das zu lösende Hauptproblem. Es soll anfangs von einfachen Idealisierungen, die simulationstechnisch leicht zu verwirklichen sind, in einer Reihe von Schritten auf realitätsnahe und reale Problemstellungen ausgedehnt werden.

Der Komplexitätsgrad der Aufgabe bei der Deutung von Sichtinformationen hängt von einer Reihe von Faktoren ab, die im folgenden Abschnitt kurz angesprochen werden.

2. Untergliederungsgesichtspunkte

- a1) Rauffeste Kamera, bewegte Objekte in der Szene -
- a2) bewegte Kamera, rauffeste Szene (Erkennung der Kamerabewegung) -
- a3) bewegte Kamera, rauffeste Szene mit unabhängig bewegten Objekten
- a4) bewegtes Objekt mit rel. zu diesem bewegter Kamera in rauffester Szene
- a5) bewegtes Objekt mit rel. zu diesem bewegter Kamera in rauffester Szene mit unabhängig bewegten Objekten.

Untergliederung der Punkte unter a) nach folgenden Gesichtspunkten möglich:

- b) Bewegung der Kamera bzw. eines Objektes
 - b1) nur translatorisch
 - b2) nur rotatorisch
 - b3) in den Freiheitsgraden:
 - b3.1) einer Linie
 - b3.2) einer Fläche (speziell: Ebene)
 - b3.3) des Raumes
- c) Realitätsgrad
 - c1) gut kontrollierbare Simulationsbedingungen
 - c2) unvollkommene einzelne Echtbauteile im Kreis
 - c3) deterministisches Verhalten
 - c4) mit wesentlichen stochastischen Störungen

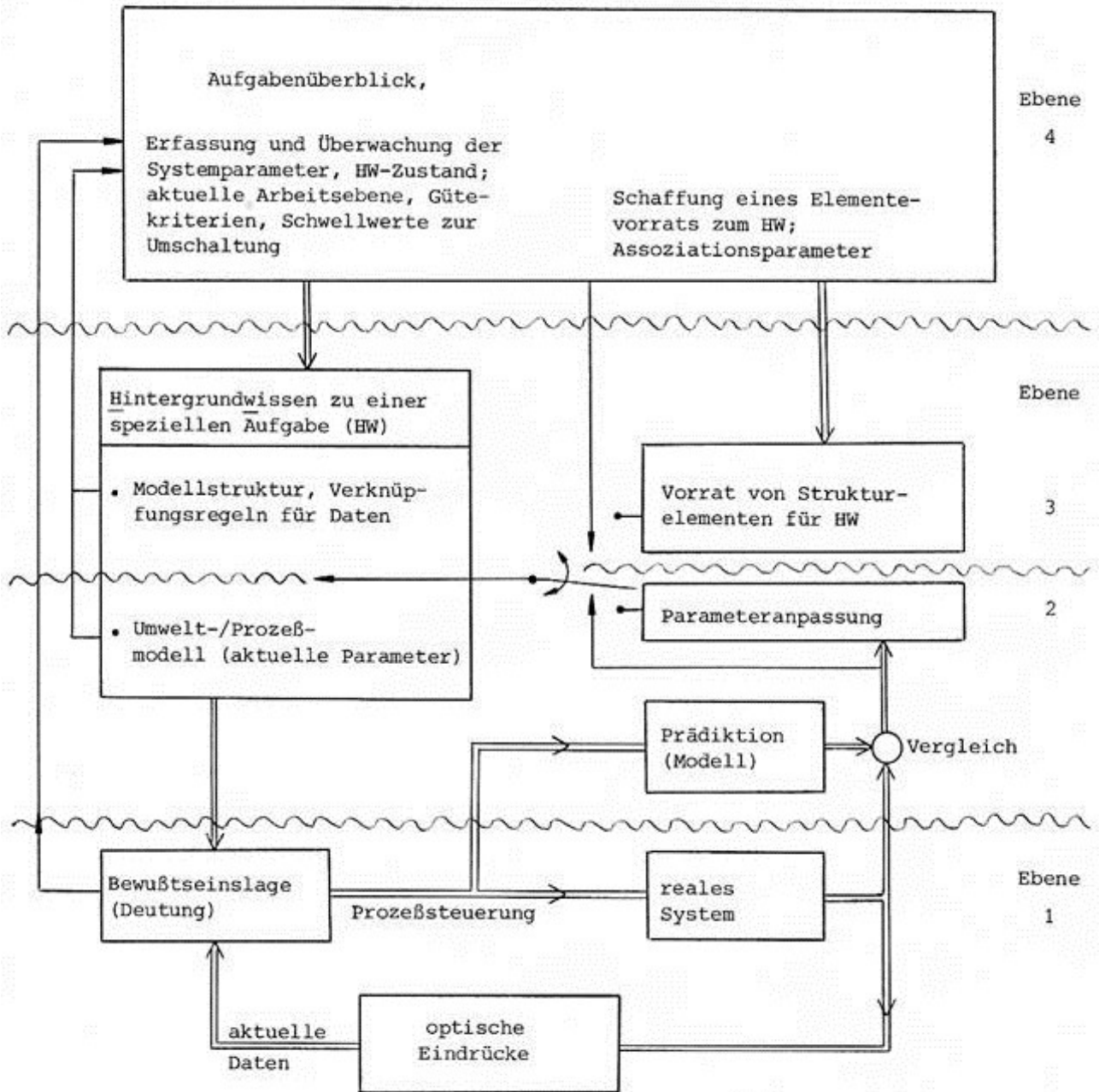


Bild 1: Hierarchische Ebenen des Steuerungsprozesses

- d) Komplexitätsgrad der Meßanordnung
 - d1) nur optischer Kanal, gute Sichtbedingungen
 - d2) nur optischer Kanal, teilweise fehlende Informationen
 - d3) optische und inertielle Meßgeber
- e) Komplexitätsgrad der optischen Szene
 - e1) Linien
 - e2) Textur
- f) Zahl der auszuwertenden Bildelemente
- g) Umfang des erforderlichen Hintergrundwissens für die Lösung der Aufgabe

Bei der Auswahl der Geräteausstattung der WE 13a wurden auch im Hinblick auf die vorliegende Themenstellung folgende Systeme ins Auge gefaßt bzw. bereits beschafft:

- I. rechnergesteuertes Stab/Wagen-System
- II. 2D-Satellitenmodellregelstrecke mit Rechnersteuerung
- III. rechnererzeugte Sichtsimulation für dynamische Bildfolgen
- IV. Dreiachsen-Bewegungssimulator mit Sichtprojektion
- V. automatisch steuerbares Landfahrzeug mit Telemetrie- anbindung an ein Prozeßrechnersystem
- VI. Fernsehbild-Digitalisierung und Auswertrechner (WE 13b)

Hiermit können weite Bereiche der obengenannten möglichen Aufgabenstellungen abgedeckt werden, z.B. die Kombinationen

- VI mit I : a1, b3.1, c, d1, e1, (f und g) klein
- VI mit II : a1, b2, b3.2, c, d, e, (f und g) größer
- VI mit III: praktisch alles außer d3, e2
- VI mit III und IV: praktisch alles außer e2
- VI mit V : realistische, praktische Aufgabe wie z.B. a5, b3.3, c4, d3, e, (f und g) groß

In den folgenden Abschnitten werden einige dieser Aufgabenstellungen stichwortartig angesprochen.

3. Ortsfeste Kamera

Der Standpunkt der Kamera in den translatorischen Freiheitsgraden liegt fest, eine weitere Falldifferenzierung erfolgt je nachdem, ob die Blickrichtung geändert werden kann oder nicht (Erweiterung des Blickfeldes).

3.1 Feste Blickrichtung

Im Sichtfeld erscheinende Bewegungen sind direkt als inertielle Bewegung deutbar; bei nur einem optischen Sensor muß alle Ortsinformation aus zwei Winkelgrößen und der relativen Größe der Abmessungen des beobachteten Gegenstandes im Vergleich zu einem Normal abgeleitet werden. Die Kenntnis der Einschränkungen der Bewegungsfreiheitsgrade läßt den Deutungsaufwand erheblich zusammenschrumpfen.

3.1.1 Bewegung auf einer geraden Linie

Es sei ein System mit 2 Freiheitsgraden (Stab/Wagen-System) betrachtet, Bild 2, wobei der eine Freiheitsgrad die Position x des Wagens und der zweite die Winkellage φ des Stabes ist. Der Wagen kann sich nur auf einer Geraden bewegen und wird von einer Kamera gemäß Bild 3 beobachtet. Der Wagen soll mit senkrecht balanciertem Stab an einem Sollpunkt zum Stillstand gebracht werden.

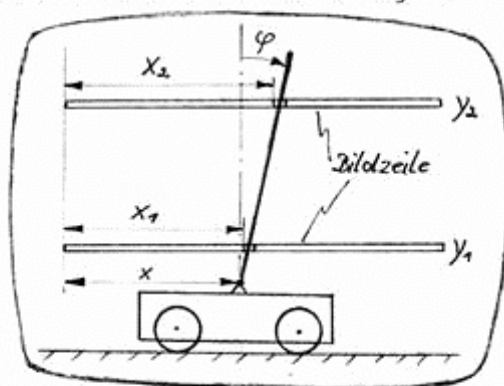


Bild 2: Blick auf das Stab/Wagen-System (Aufriß)

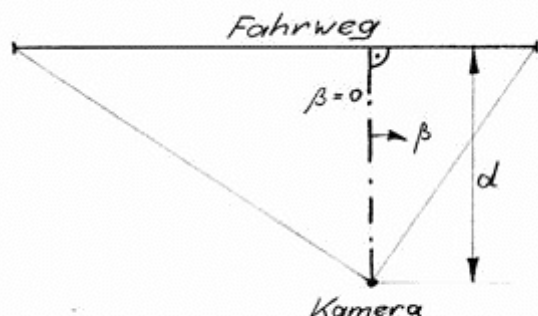


Bild 3: Kameraposition relativ zu Fahrweg in der Draufsicht; β = Blickrichtung der Kamera

Für $\beta \approx 0$ können die beiden Bildzeilen y_1 und y_2 ausgewertet werden, um sowohl die Position x als auch die Stabneigung φ aus den Koordinaten x_1 und x_2 direkt zu ermitteln;

y_1 und y_2 erfassen hier (näherungsweise) die gleichen Stabelemente (für $\varphi \approx 0$), da die Kamera normal zum Fahrweg blickt. Für größere Werte von β entspricht der gleichen vertikalen Blickrichtung (Elevation ϵ) in der Vertikalebene, die den Fahrweg enthält, eine unterschiedliche Höhe über Grund, wie Bild 4 zeigt.

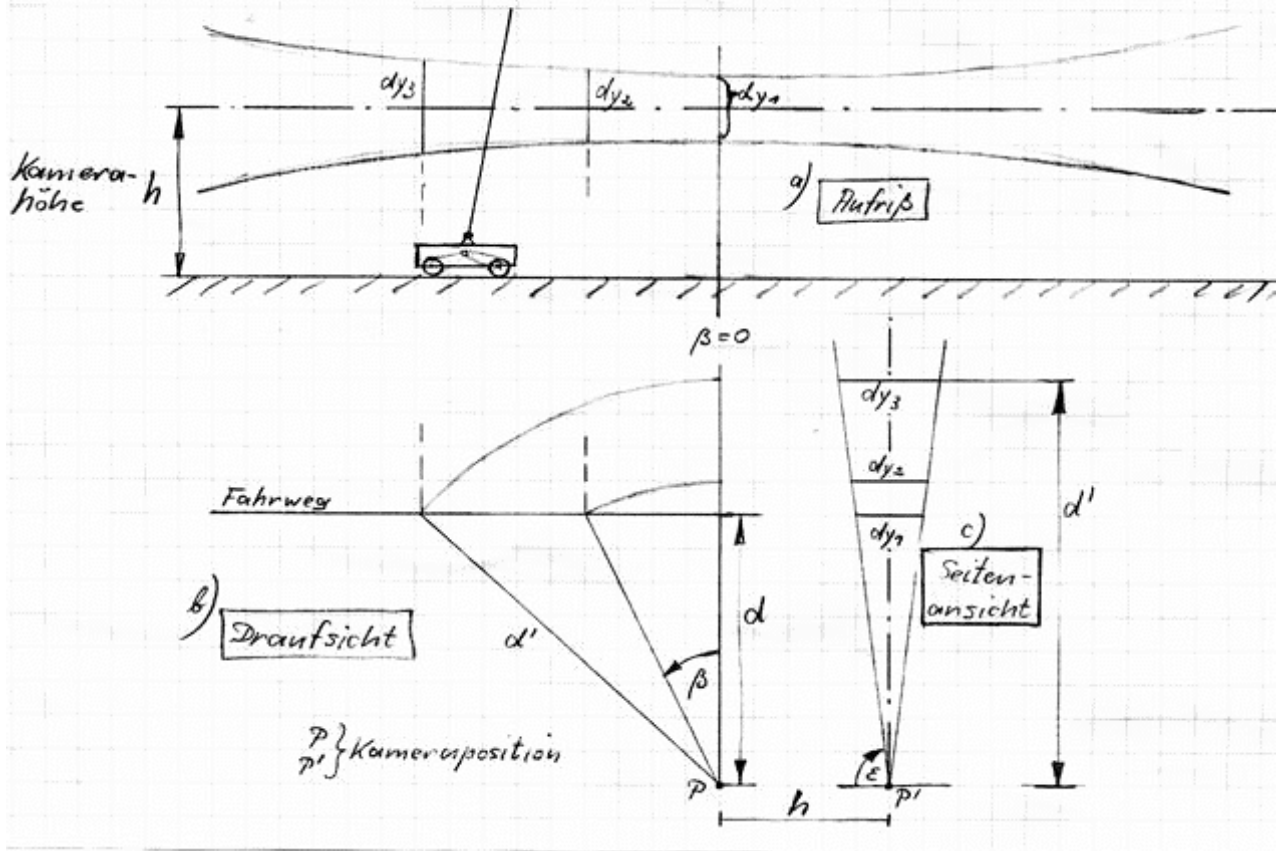


Bild 4: Geometrische Verhältnisse bei schräger Sicht auf die vertikale Fahrweg-Ebene

Das erforderliche Hintergrundwissen zur richtigen Deutung der Sichtinformation besteht aus

- dem Strukturmodell:
 - . auf einer Geraden in einer Ebene fahrender Wagen
 - . in der vertikalen Fahrebene rotierender Stab, im Wagen gelagert
 - . Bildzeile parallel zur Rollebene des Wagens
 - . Kamera abseitig von Fahrweg, und

- den Parametern: + fahrwegnormaler Kameraabstand d
 + Kamerahöhe h
 + Kamerablickwinkel ab Fahrwegnormale β .

Mit diesen Daten kann aus den Meßwerten x_1, y_1 und x_2, y_2 gemäß Bild 2 bei hinreichender Genauigkeit der Meßwerte der Zustand des Stab/Wagen-Systems ermittelt werden. Geschieht dies mehrmals zeitlich hintereinander, so können durch Differenzenbildungen auch die Geschwindigkeiten abgeleitet werden. Um die Empfindlichkeit der Ergebnisse gegenüber Meßfehlern zu reduzieren, wird man zweckmäßigerweise ein dynamisches Modell der gesamten Anordnung erstellen und ein Kalman-Bucy Filter zur Meßverarbeitung zwischenschalten. Dieses dynamische Modell gehört dann ebenfalls zum erforderlichen Hintergrundwissen für diese Aufgabe.

Bei der Ermittlung des Fahrzeugzustandes aus den Sichtdaten ist eine Invertierung der Projektionsberechnungen durchzuführen; zur Reduktion des Rechenaufwandes ist von Linearisierungen eingehend Gebrauch zu machen, um die Echtzeitforderung realisieren zu können.

Eine weitere Vereinfachung der Auswertung ist möglich, wenn eine der auszuwertenden Bildzeilen bei $\epsilon = \pi/2$ (Bild 4 unten rechts), d.h. in der Höhe h liegt (\rightarrow Gerade).

3.1.2 Bewegung in einer Ebene

Ein Körper, parallel zu einer Ebene geführt, hat 2 translatorische und einen rotatorischen Freiheitsgrad (Drehung um die Hochachse). Bild 5 zeigt die in der WE 13a ausgeführte Realisierung in Form eines druckluftgetriebenen Luftkissenfahrzeugs (Satelliten-Modellregelstrecke), dessen Düsen je nach Schaltkombination translatorische oder rotatorische Beschleunigungen bewirken. Markierungen auf dem Körper sorgen für Kontraste und sollen eine Winkelbestimmung ermöglichen. Die Kamera steht an einem höhergelegenen Punkt, von dem aus die gesamte mögliche Bewegungsfläche für den Satelliten von der Kamera erfaßt werden kann.

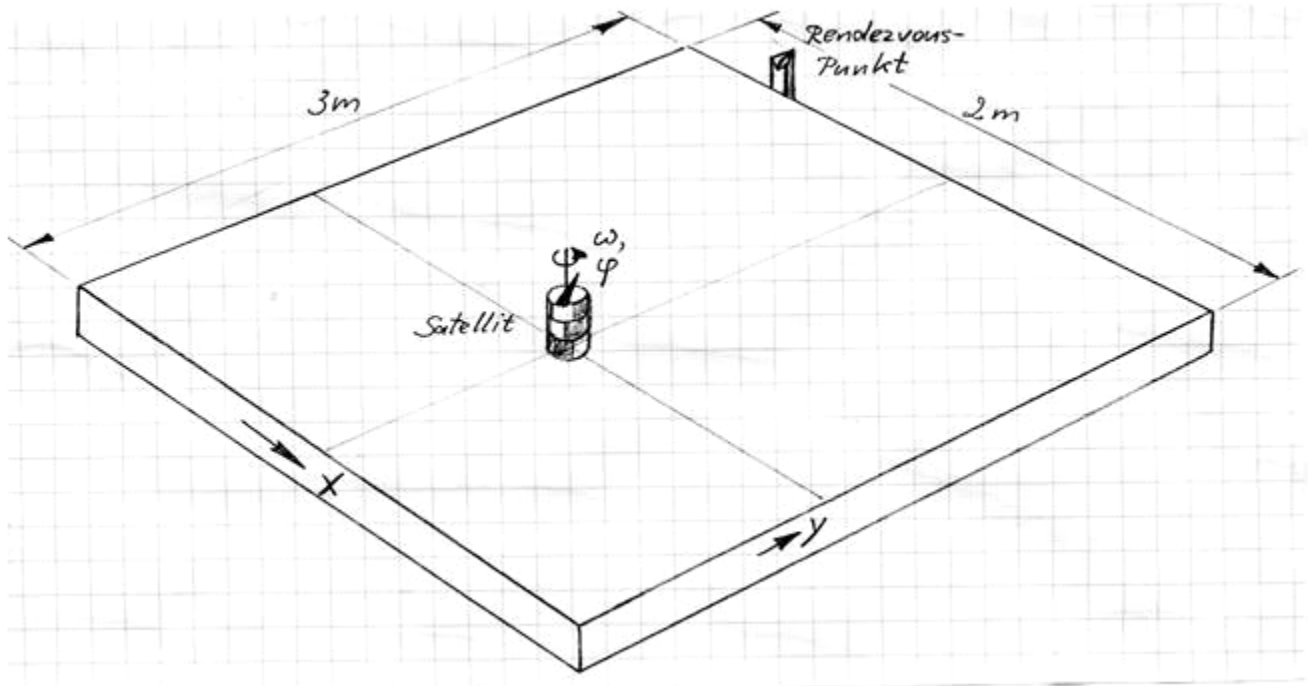


Bild 5: Reaktionsgetriebenes Luftkissenfahrzeug als 2D-Satelliten-Modellregelstrecke auf rechteckiger horizontaler Fläche

Zur Positionsbestimmung sind mehrere Vorgehensweisen denkbar:

- schachbrettartige Untergliederung der Fläche durch Anstriche
- Messung relativ zur Kantenlänge
- qualitativ relativ zu einem Bezugspunkt.

Auch hier ist wie schon bei 3.1.1 das Bewegungselement in den Mittelpunkt zu stellen, um anhand eines dynamischen Modells Informationen und Erkenntnisse aus der Vergangenheit bei der Deutung des momentanen Bildes auszunutzen. Im Fall von Unklarheiten können Steuersignale nur zum Zwecke der besseren Zustandserkennung gegeben werden. Eine mögliche Aufgabe ist, den Satelliten (evtl. zeitoptimal) an einen Rendezvouspunkt mit vorgegebener Winkellage und definierten Ankoppelbedingungen zu führen. Die Projektionsgleichungen sind hier merklich aufwendiger als unter 3.1.1.

3.2 Variable Blickrichtung

Durch die Veränderbarkeit der Kamerablickrichtung geht die direkte Zuordnung von Lage x_1 in der Bildzeile zur Lage im Raum verloren;

der Blickwinkel der Kamera tritt als Zwischengröße auf. Er wird über einen getrennten Sensor gemessen (z.B. Potentiometer).

3.2.1 Bewegung auf einer geraden Linie

Die Kamera soll sich in diesem Fall nur um die Hochachse drehen können. Gegenüber 3.1.1 ist bei den Linearisierungen wegen des nun viel größeren Blickwinkelbereichs evtl. eine Parameteranpassung vorzusehen. Darüber hinaus können nun schlechtkonditionierte Fälle auftreten (schleifende Schnitte), für die besondere Vorkehrungen getroffen werden müssen (Erweiterung des erforderlichen Hintergrundwissens). Fälle mit oben nicht sinnvollen Anfangsbedingungen (z.B. Objekt außerhalb des Blickfeldes) können nun durch Vorschalten eines Suchvorgangs mit evtl. Ansteuerung des Systems zur besseren Identifizierung beherrscht werden. Die Flexibilität und die Anforderungen an das Erkennen der zu beherrschenden Problemstellung werden stark erhöht. Die Parameter d und h sowie die Richtung der Fahrwegnormalen können aus Vorversuchen automatisch ermittelt werden, wenn der Stab in der Vertikalen Markierungen trägt (vgl. Bild 4). Hierzu müssen die Gesetze der Perspektivprojektion im Hintergrundwissen kodiert vorliegen (Geraden-Test, Parallelerkennung, Ausnutzung des Strahlensatzes und des Satzes von Pythagoras). Diese Vorversuche stellen schon eine höhere Intelligenzleistung dar.

3.2.2 Bewegung in einer Ebene

Bei dieser Aufgabe ist es zweckmäßig, daß die Kamera in Azimut und Elevation gedreht werden kann. Rendezvous-Aufgaben können evtl. dadurch vereinfacht werden, daß der Satellit ständig im Mittelpunkt des Blickfeldes gehalten wird (Servonachsteuerung der Kamerablickwinkel mit guter Genauigkeit), so daß aus den Kameralagen und -drehgeschwindigkeiten, die über eigene Sensoren gemessen werden können, Informationen abgeleitet werden, die den Aufwand bei der Bildauswertung verringern helfen. Linearisierungen bleiben im Bereich besserer Genauigkeit.

Die Analyse der Szene könnte weiter verbessert werden, wenn der auswertende Rechner die Kamera auch in den translatorischen Freiheits-

graden (z.B. auf einem Kreisbogen um den Tisch der Modellregelstrecke) bewegen könnte. Bei gleichzeitiger Bewegung von Kamera und Satellit ergäbe sich eine sehr komplexe Aufgabenstellung, wahrscheinlich mit der Notwendigkeit, das optische Bild inertial zu stabilisieren. Diese Aufgabenstellung wird erst zu einem späteren Zeitpunkt aufgreifbar sein. Als Schritt in dieser Richtung ist das Problem der Steuerung eines Systems mit bewegter Kamera in einer stationären Szene zu untersuchen.

4. Mitbewegte Kamera

Bei dieser Aufgabengruppe ist die Kamera auf einem zu steuernden Objekt mit verschiedenen Freiheitsgraden der Bewegung relativ zu diesem Objekt montiert. Das Objekt selbst kann sich auch in verschiedenen Freiheitsgraden bewegen, wobei je nach Freigabe dieser beiden Gruppen von Freiheitsgraden einfache oder sehr komplexe Aufgabenstellungen resultieren. In diesen Freiheitsgraden können neben den gewollten Bewegungen auch stochastische Störbewegungen auftreten; von diesen wird zunächst abgesehen.

4.1 Aufgaben ohne stochastische Störungen

Es soll wieder von einfachen Aufgabenstellungen ausgegangen werden. Die einfachste ist:

4.1.1 Blickrichtung fest relativ zum gesteuerten Objekt, wobei sich

4.1.1.1 das gesteuerte Objekt nur auf einer Linie bewegen kann

(Spurfahrzeug wie z.B. Eisenbahn). Die Interpretation der Außensicht wird besonders einfach, wenn bekannt ist, daß sich die Linie in einer Ebene befindet; ein Anwendungsfall dieser Aufgabenstellung wäre z.B. die Geschwindigkeitssteuerung eines Spurfahrzeuges in Abhängigkeit von der Spurkrümmung und Überwachung der Hindernisfreiheit. Roll- und Nickfreiheitsgrade sowie y- und z-Translation sind blockiert bzw. durch die Spurführung festgelegt.

Die nächsteinfache Aufgabenstellung ist

4.1.1.2 die Bewegung auf einer gut markierten, beschränkten Oberfläche

Hier ist wiederum für den ebenen Fall die Interpretationsaufgabe besonders leicht. Gegenüber der o.g. Aufgabe kommen allerdings 2 Bewegungsfreiheitsgrade (y -Translation und Drehung um die Hochachse) hinzu. Ein typisches Anwendungsbeispiel ist die Steuerung eines Landfahrzeugs auf einer freien, gut markierten Straße wie der Autobahn.

Die Aufgabe besteht in der Richtungs- und Geschwindigkeitssteuerung, wobei y -Translation und Azimutwinkel gekoppelt sind (zumindest bei den üblichen Rad-, nicht jedoch bei Kettenfahrzeugen).

Da diese Problematik einerseits genügend wirklichkeitsnah gestaltet aber andererseits auch genügend weit vereinfacht werden kann, soll sie zur Einarbeitung in die Selbststeuerung dynamischer Systeme durch Auswertung von Sichtinformation benutzt werden. Als langfristiges Anwendungsziel könnte ein "Autobahn - Autopilot" betrachtet werden, der dem Fahrer die ermüdende Steuerungsaktivität unter den relativ einfachen Autobahnbedingungen abnimmt (vorausgesetzt, die erforderliche Zuverlässigkeit kann erreicht werden). Diese Aufgabenstellung kann simulationstechnisch in verschiedenen Vereinfachungsstufen leicht realisiert werden und auch echte Versuche sind bezüglich der Kosten nicht übermäßig anspruchsvoll. Mit den Mitteln des Simulationslabors der WE 13a kann die reale Aufgabenstellung relativ gut approximiert werden (einschließlich der Problematik des inertial-optischen Sensor-Mix). Einzelprobleme gemäß Bild 6 sind:

- Erkennen der Ausgangssituation: Ablage, Fahrzeugrichtung relativ zur Fahrbahn
- Erfassen des weiteren Fahrbahnverlaufs (Krümmung als Funktion des Weges)
- Test der Fahrbahn auf Hindernisse (Kreuzungslinien bzw. Textur)

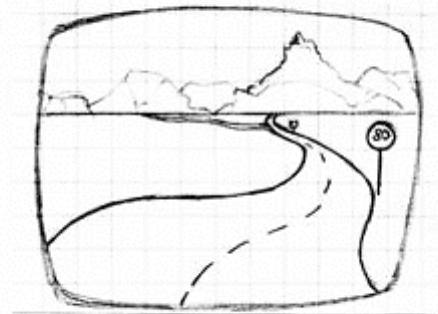


Bild 6: Landfahrzeugsteuerung

- Einsteuern von Geschwindigkeit und Lenkeinschlag
- Test auf Informationen um die Fahrbahn: Lesen von Verkehrszeichen, Straßenmarkierungen
- Ermittlung von Hilfsgrößen zur Fahrzeugregelung und deren Aufschaltung: V , $\dot{\psi}$
- übergeordnete Navigation (Kreuzungen, Abzweigungen).

Die Lösung des Gesamtproblems einer Transportaufgabe erfordert den Aufbau einer "Bewußtseinslage" mit verschiedenen hierarchischen Ebenen:

- Fahrtzustand: Geschwindigkeit, Fahrzeuglage relativ zur Fahrbahn
- Fahrzeugzustand: Steuerstellungen, Signale (Blinker), Motordrehzahl etc.
- größeres Umfeld: Navigationsparameter, Schilderlage, Straßenzustand (Textur)

und entsprechende Sollwerte-/Führungsgrößenfestlegungen für die untergeordneten Regelkreise. Effektive Konzepte und Algorithmen zur Steuerung des Fahrzeug mittels Rechner, die Bildinformationen auswerten, zu finden, ist der Kern der Aufgabe. Zur Vermeidung des Aufwands, aus jedem Bild die volle Information aus der Anfangskenntnis Null ableiten zu müssen, ist ein dynamisches Modell des Bewegungsvorgangs im Rechner vorzusehen, das die erforderliche Informationsauswertung durch Einschränkung des Bereichs der Deutungsmöglichkeiten und evtl. Linearisierungen vereinfacht und das in einer Initialisierungsphase (Situationserkennung) mit den richtigen Parametern besetzt werden muß; diese sind im weiteren Verlauf anzupassen. Auf diesem Weg sind wahrscheinlich auch die weiter unten aufgeführten stochastischen Störungen (über Filteralgorithmen) zu beherrschen.

Eine wesentliche Komplizierung dieser Aufgabenstellung tritt bezüglich der Sichtauswertung auf, wenn die Oberfläche, auf der sich das Fahrzeug bewegt, gekrümmt ist, bzw. die Umgebung Verwerfungen hat (Gebirgsstraße, Sichtverdeckung). Noch schwieriger und im allgemeinen Fall z.Zt. sicher nicht beherrschbar ist das Problem

4.1.1.3 Steuerung in den 3 rotatorischen und den 3 translatorischen Freiheitsgraden (Hubschrauberflug über schlecht strukturiertem Gelände). Die vereinfachte Aufgabenstellung des Landeanflugs auf einen "bekannten" Flugplatz von einem eingeschränkten Satz von Anfangsbedingungen aus, dürfte dagegen leichter lösbar sein.

Bei den o.g. Aufgaben ist zur Erstellung eines genügend guten Umweltmodells gelegentlich ein breites Sichtfeld erforderlich (z.B. enge Kurve, Erfassung der Krümmung weit genug voraus). Dies kann bei gegebener kleiner Öffnung des Blickwinkels durch Drehung der Blickrichtung relativ zum Fahrzeug erreicht werden. In diesem Fall klaffen inertiale und optische Information auseinander und für diesen zusätzlichen Freiheitsgrad müssen Steuerungen gefunden werden.

4.1.2 Blickrichtung gesteuert relativ zum gesteuerten Objekt

- a) Die Blickrichtung kann im Sinn eines Folgeregelkreises an eine Erscheinung der Außenwelt gefesselt werden, wobei ein eigener Sensor (Potentiometer, Synchro) die Lage relativ zum Fahrzeug erfaßt und die Zuordnung zu den inertialen Größen sichert.
- b) Die Blickrichtung wird relativ zum Fahrzeug gesteuert, wobei bei der Deutung der Außensicht diese Relativbewegung eingerechnet wird.

Ein wechselweiser Übergang zwischen a) und b) wird in der Praxis häufiger vorkommen und muß verkräftet werden. Für Strategieentscheidungen, wann zweckmäßigerweise die eine oder die andere Steuerungsart zu wählen ist, sind entsprechende Kriterien zu finden.

Es ist zu untersuchen, wie bei der Deutung der Bilddaten auf unabhängigem Weg inertial gemessene Größen (wie z.B. Winkelgeschwindigkeit oder -lagen) vorteilhaft herangezogen werden können. Zu diesem Zweck ist ein Simulationsaufbau um den Dreiachsen-Bewegungssimulator vorgesehen, der sowohl optische als auch inertiale Meßgrößen mit realen Sensoren zu erfassen gestattet. Hierzu sind Bildprojektionen in einen größeren Winkelbereich erforderlich

(wahrscheinlich eine steuerbare Projektionsrichtung), um einen genügend großen Bewegungsbereich für die Inertialsensoren zu ermöglichen.

4.2 Mit stochastischen Störungen

Wie stochastische Störungen die Bildauswertung beeinflussen, kann auf dem Simulationsweg durch Überlagerung stochastischer Störsignale bei der rechnergesteuerten Bilderzeugung untersucht werden. Da die Außenwelt aber meist in Ruhe ist, kommen in der Wirklichkeit Störungen meist über mechanische Bewegungen des Bildsensors ins Spiel. Diese können auf dem DBS simuliert werden. Hohe Frequenzanteile können evtl. durch eine entsprechende mechanische Aufhängung des Sensors eliminiert werden; bezüglich der niedrigen Störfrequenzen ist eine Ausregelung durch eine stabilisierte Plattform zu untersuchen, sofern diese Störungen nicht softwaremäßig zu erkennen und zu eliminieren sind. Die Anwendung der zu untersuchenden Hard- und Software zur Steuerung dynamischer Systeme aufgrund automatischer Bildauswertung auf reale Systeme setzt die Beherrschung stochastischer Störungen voraus.

5. Versuchsaufbauten

Alle Versuche gehen von einem als Echtbauteil vorhandenen Bildsensor (TV-Kamera mit Digitalisierung von Bildelementen der WE 13b) aus. Die Bilderzeugung ist unterschiedlich.

5.1 Reine Rechnersimulation mit Picture System 2 (PS2)

Dies ist der flexibelste Versuchsaufbau, da auch die zu analysierenden Bilder per Software im Rechner PDP 11/60 erzeugt werden können. Die Kamera betrachtet entweder direkt den Bildschirm des PS2 oder aber eine Projektionsfläche, auf die diese Bilder übertragen werden. Als Bildauswertungsrechner ist längerfristig der fachbereichszentrale Prozeßrechner und/oder der Prozeßrechner der WE 13b vorgesehen. Für langsame Vorgänge kann die 11/60 beide Aufgaben übernehmen.

Mit diesem Simulationskreis sind alle Aufgabenstellungen zu untersuchen, bei denen

- die Nichtentfernung verborgener Linien unkritisch ist
- Textur keine Rolle spielt (beschränkt simulierbar)
- der optische Kanal allein genügt.

Die Kamera steht hierbei fest.

5.2 Steuerung der Modellregelstrecke Stab/Wagen

Hierbei steht die Kamera, evtl. um die Hochachse drehbar, ansonsten fest vor der Bewegungsebene dieses Systems. Die Auswertung der aus dem WE 13b-Bilderfassungssystem kommenden Signale geschieht auf der 11/60, die Prozeßanschlüsse zur Steuerung des Stab/Wagen-Systems hat (neben konventionellen Sensoranschlüssen zur Erfassung von Stellung, Geschwindigkeit und Stabdrehwinkel).

5.3 Steuerung der Satelliten-Modellregelstrecke

Der Aufbau ist analog zu 5.2 mit den gleichen Komponenten außer der unterschiedlichen Modellregelstrecke, die ebenfalls an der 11/60 angeschlossen ist.

5.4 Koordination inertial/optische Meßwertverarbeitung am DBS

Der Aufbau ist analog zu 5.1 mit Bildprojektion vor dem DBS. Der optische Sensor sitzt starr verbunden mit dem Inertialsensorkpaket auf der Plattform des DBS. Die Inertialdaten werden zusammen mit den optischen Rohdaten aus der Bildvorverarbeitung (über Telemetrie) in den fachbereichszentralen Prozeßrechner übertragen, der die Ansteuer-signale für den DBS und die Projektionsrichtung ermittelt und Daten zur Bilderzeugung an die 11/60 weitergibt (Bild 7).

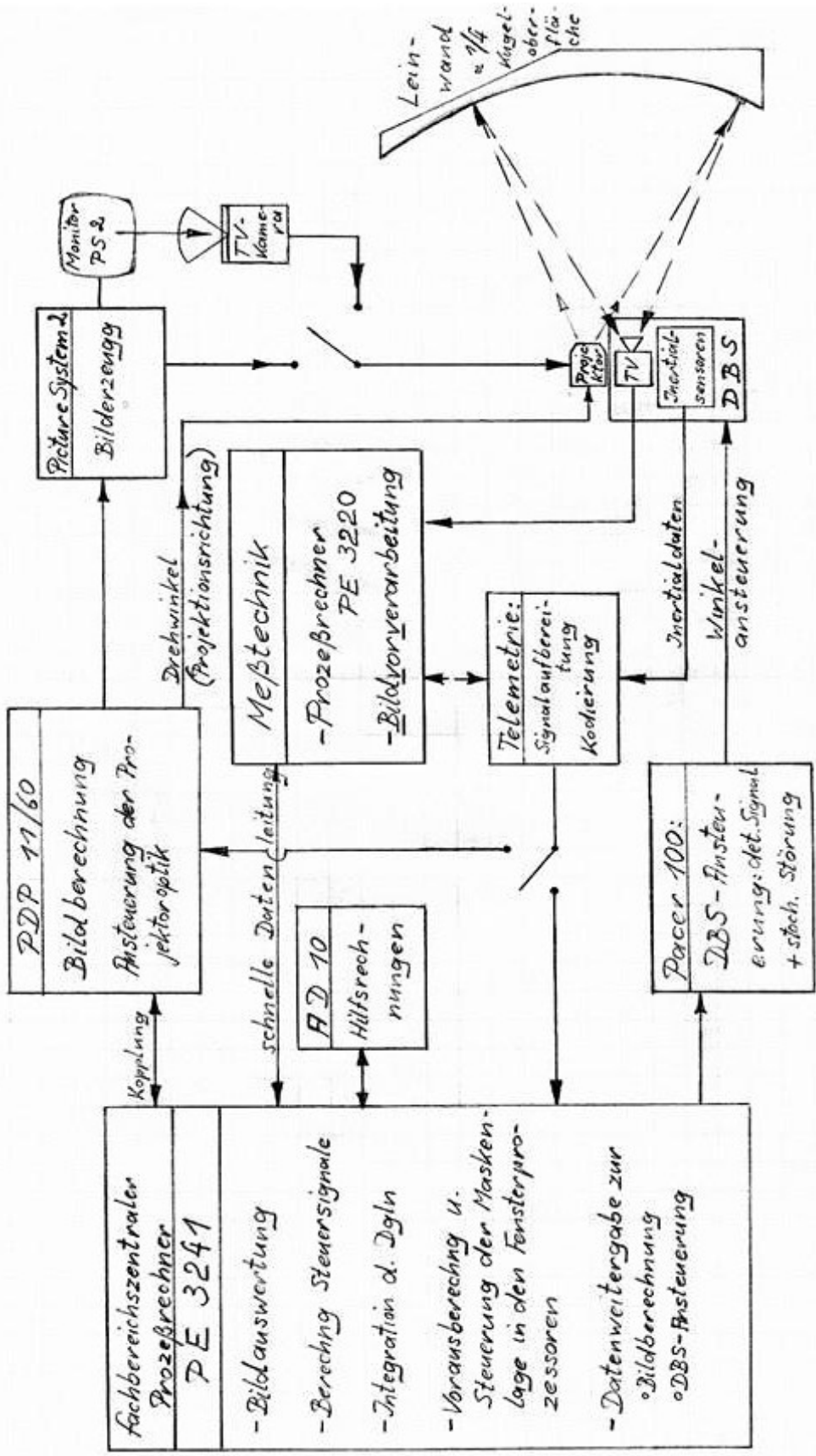
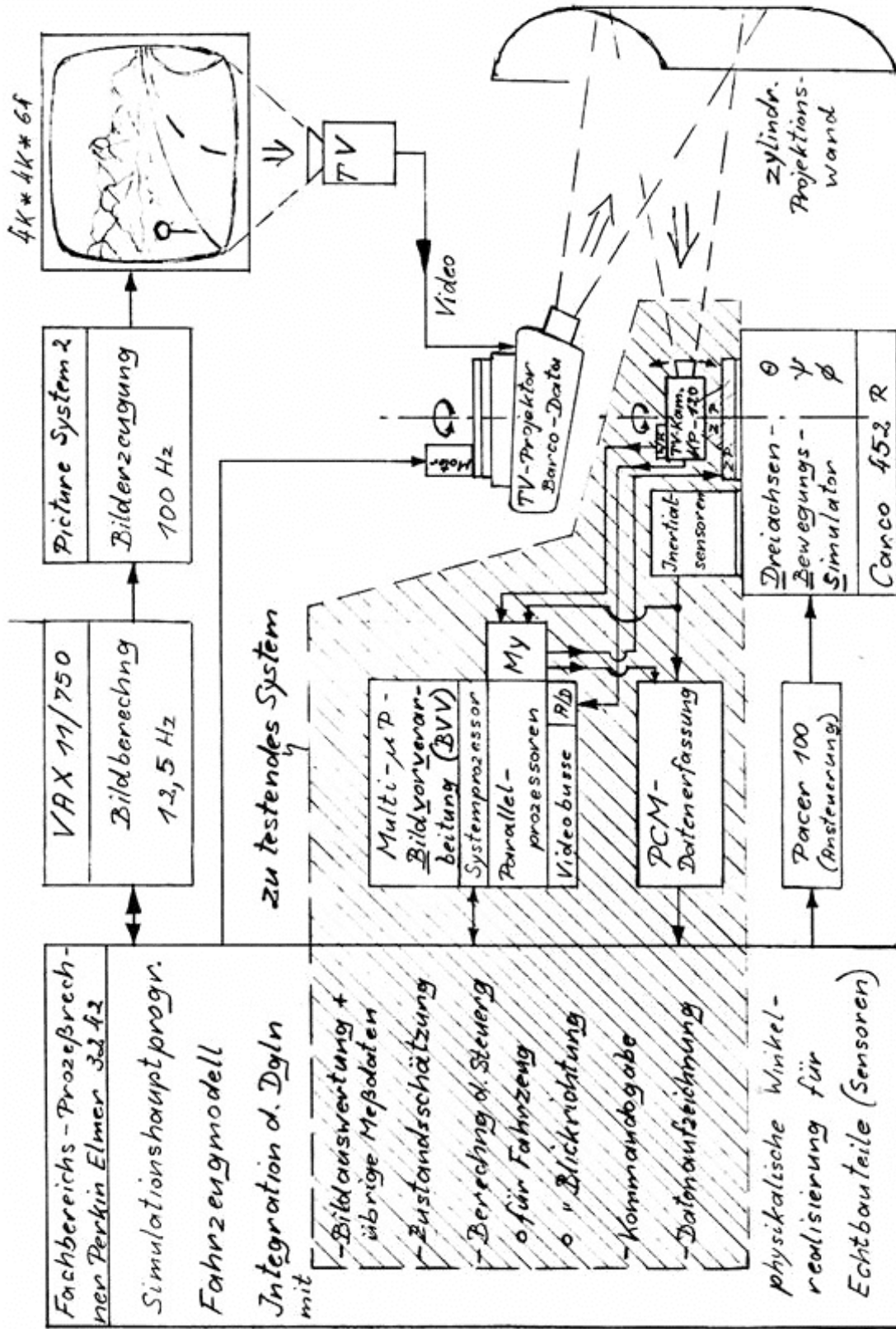


Bild 7: Simulationsaufbau Bildvorverarbeitung in Echtzeit. (nach [2])

Realisierter Simulationskreis

Stand: 29.8.1983



Simulation zur Fahrzeugsteuerung durch Rechnersicht

HSBw/LRT - Systemdynamik

()