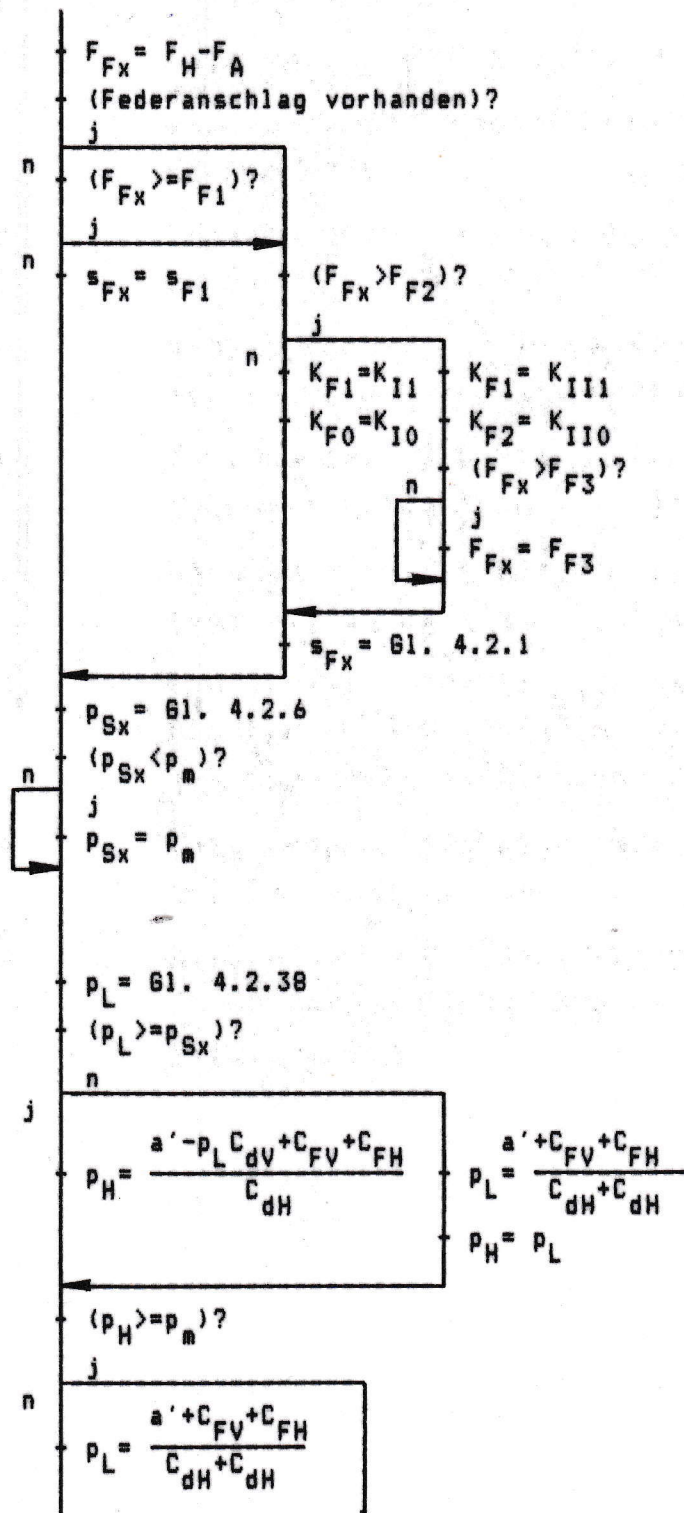
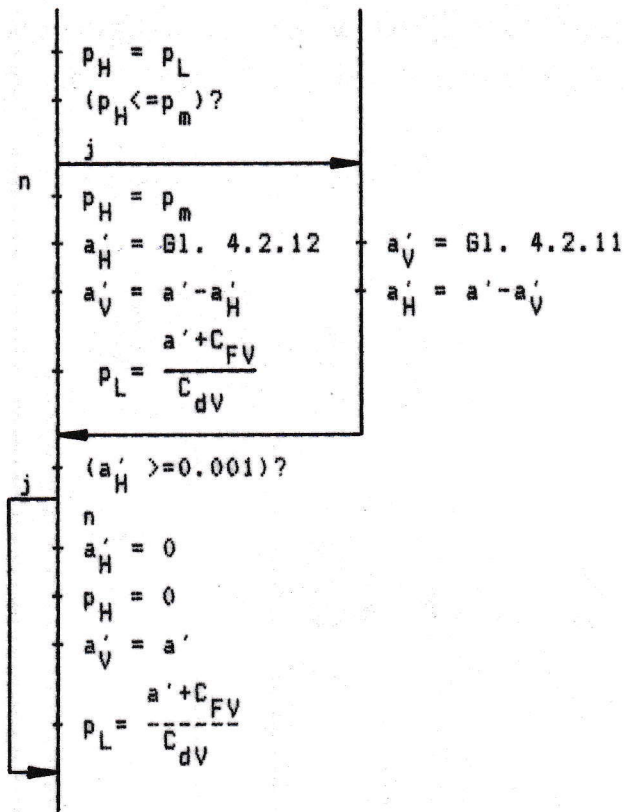


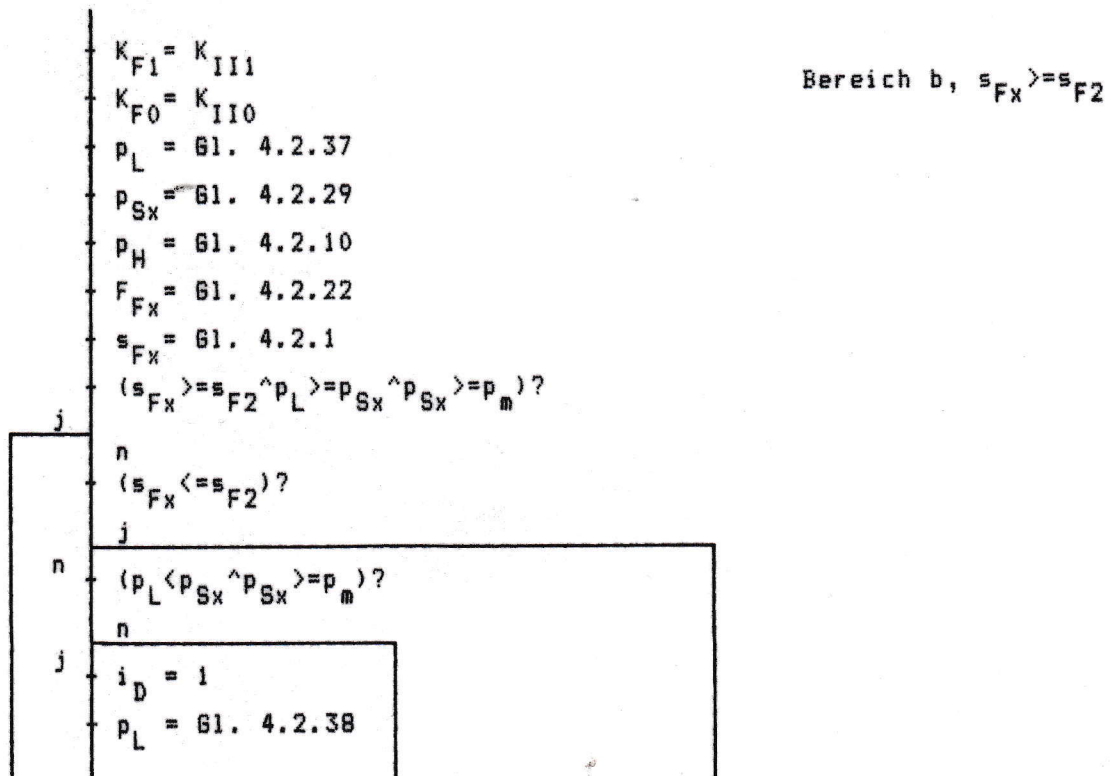
Algorithmus zur Berechnung des Funktionsverhaltens eines Bremsdruckreglers mit Knickcharakteristik

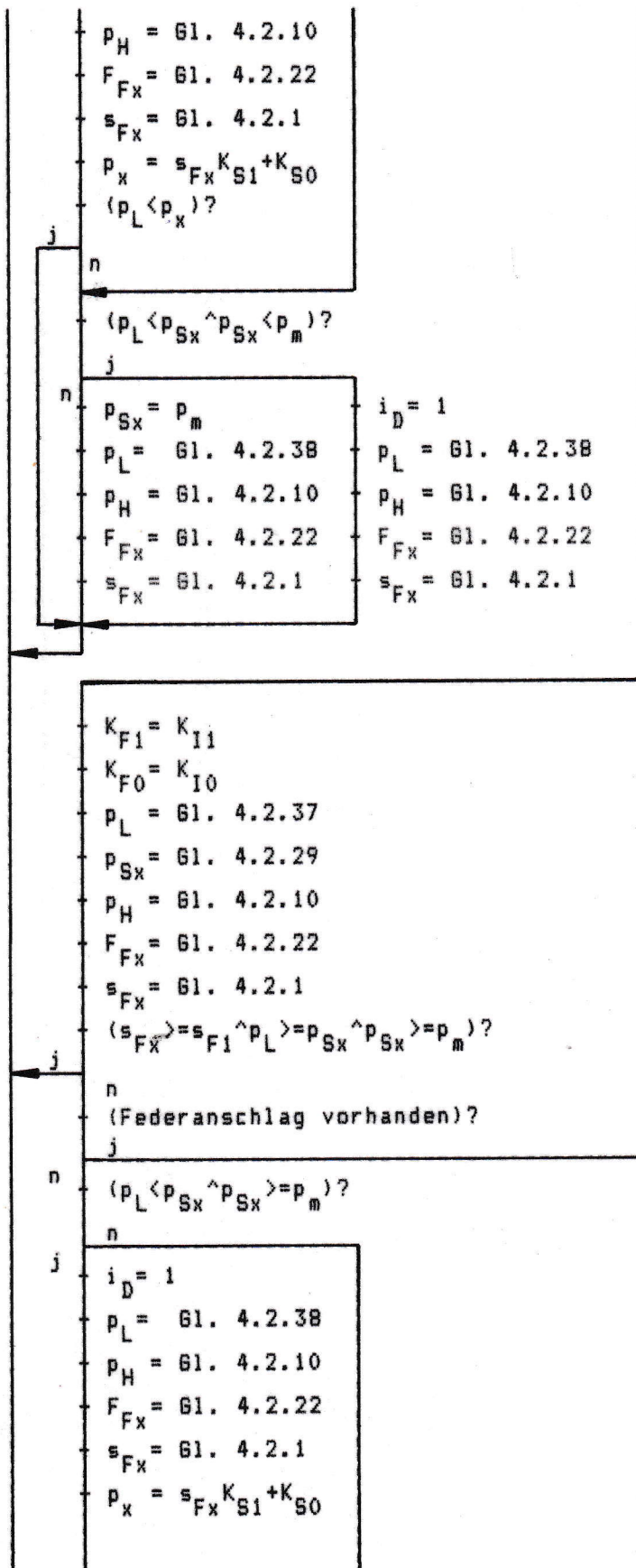
- statischer Druckregler



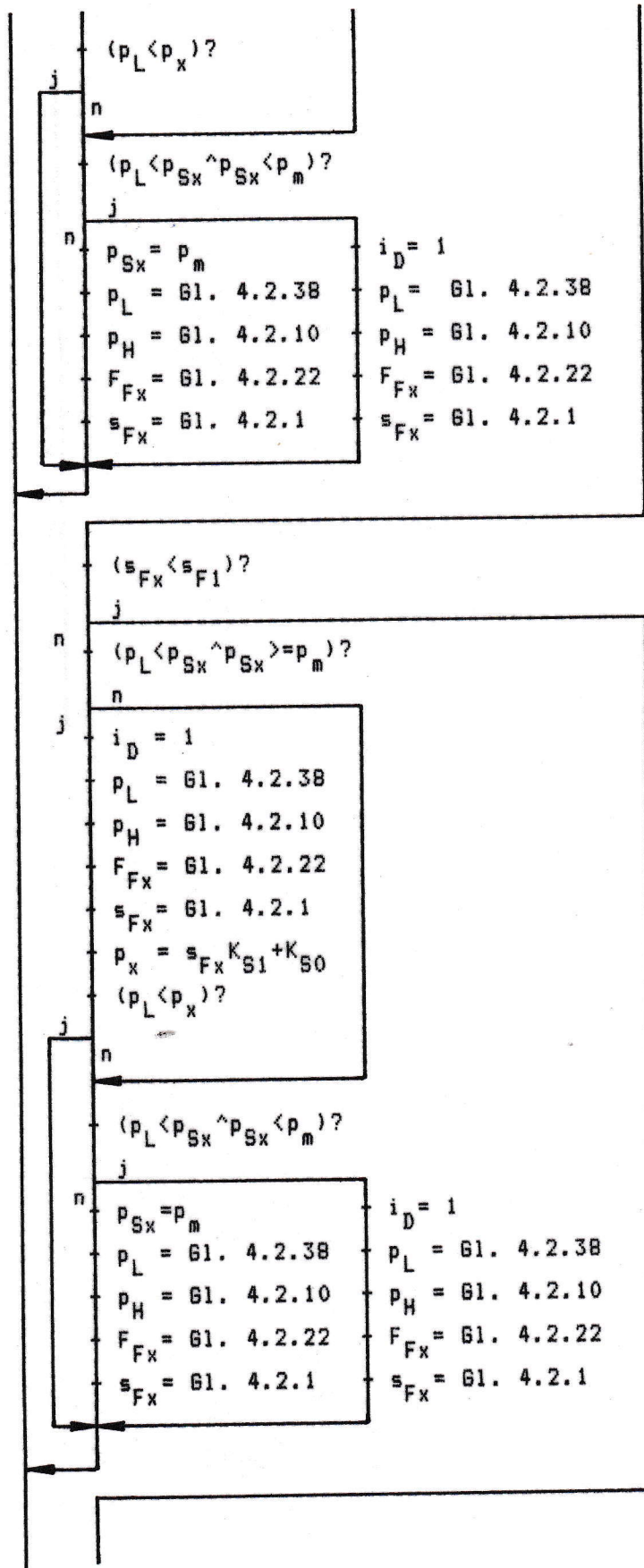


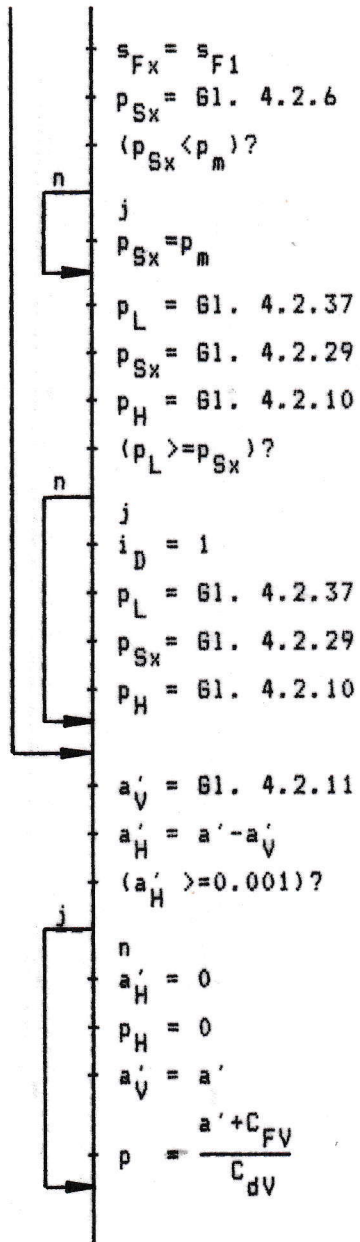
dynamischer Druckregler





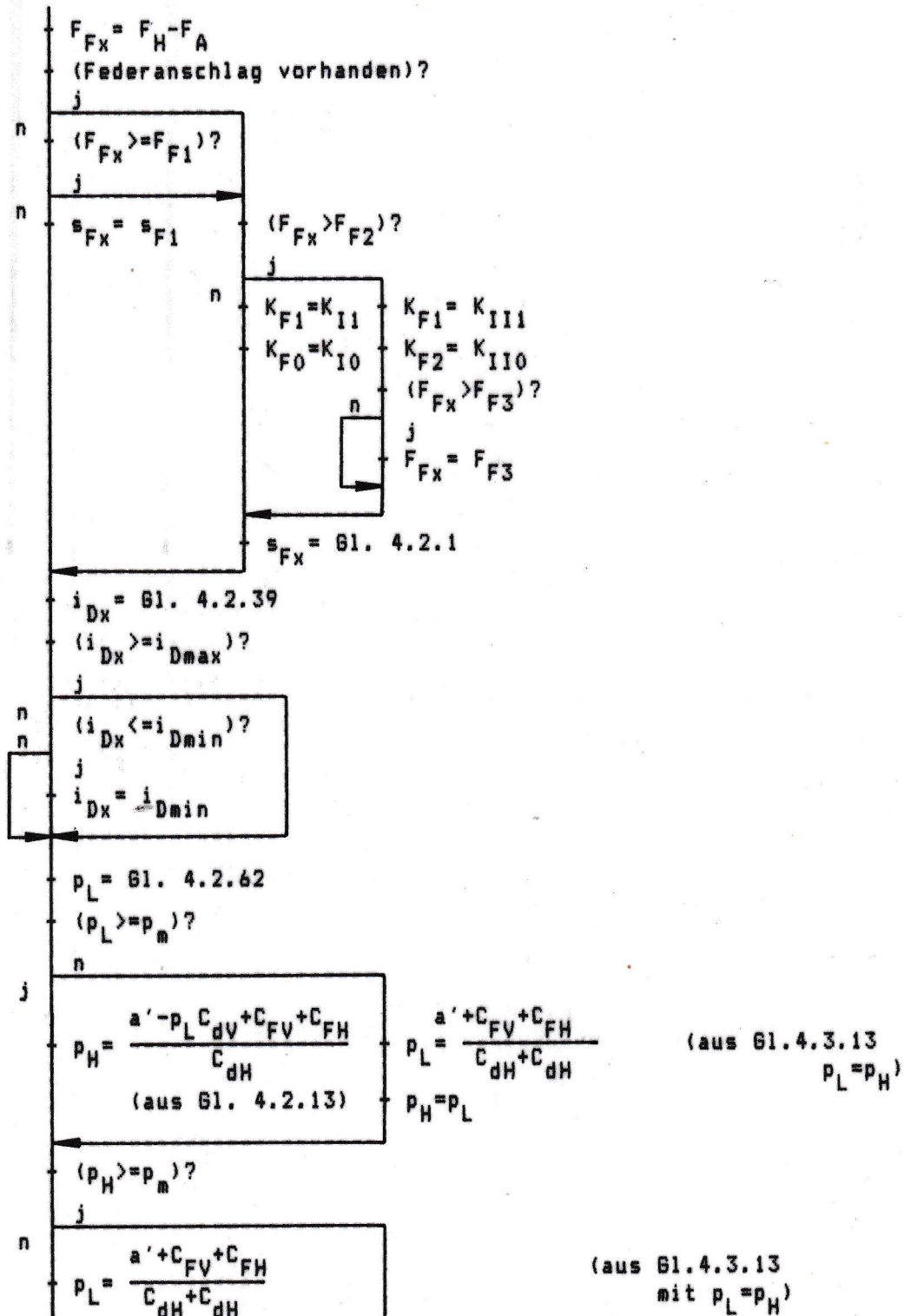
Bereich b, $s_{Fx} < s_{F2}$

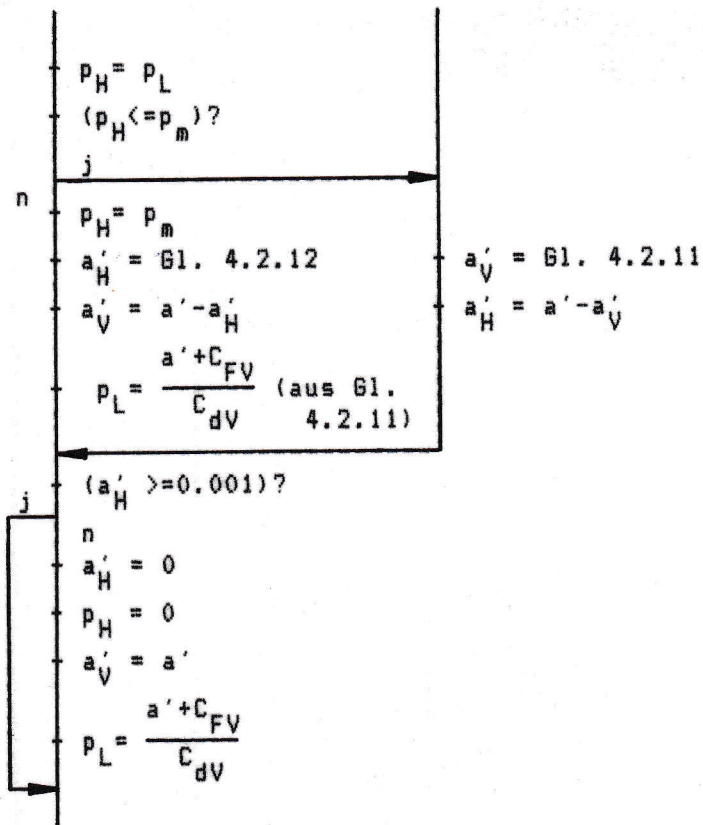




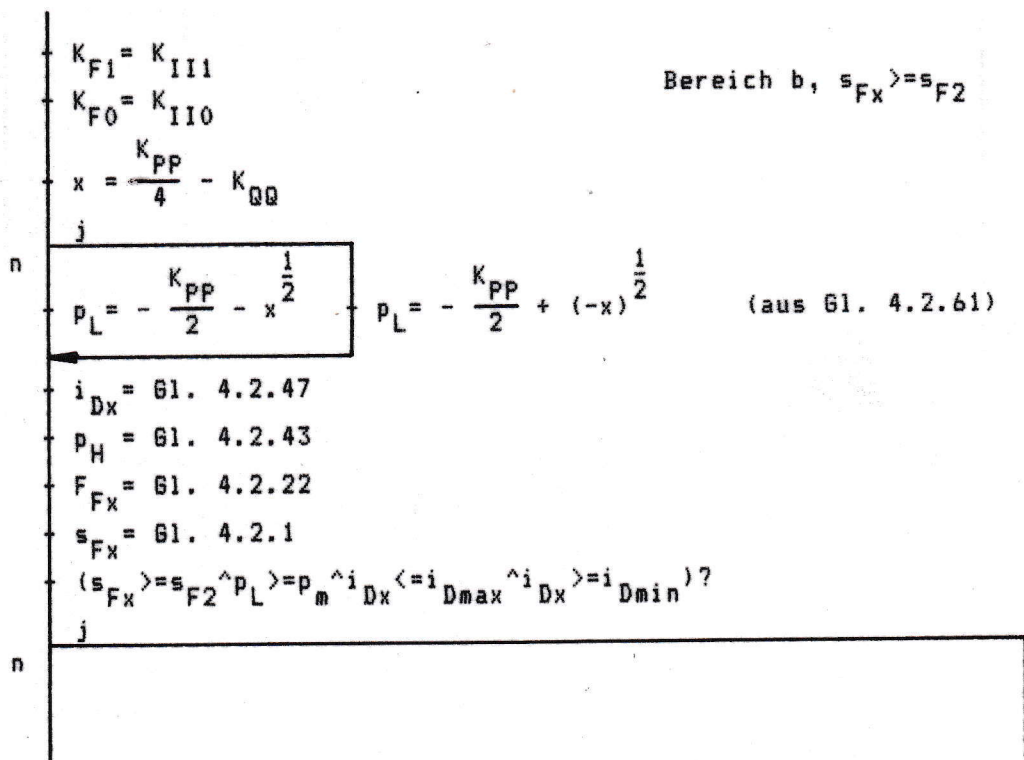
Algorithmus zur Berechnung des Funktionsverhaltens eines Bremsdruckreglers mit Strahlencharakteristik

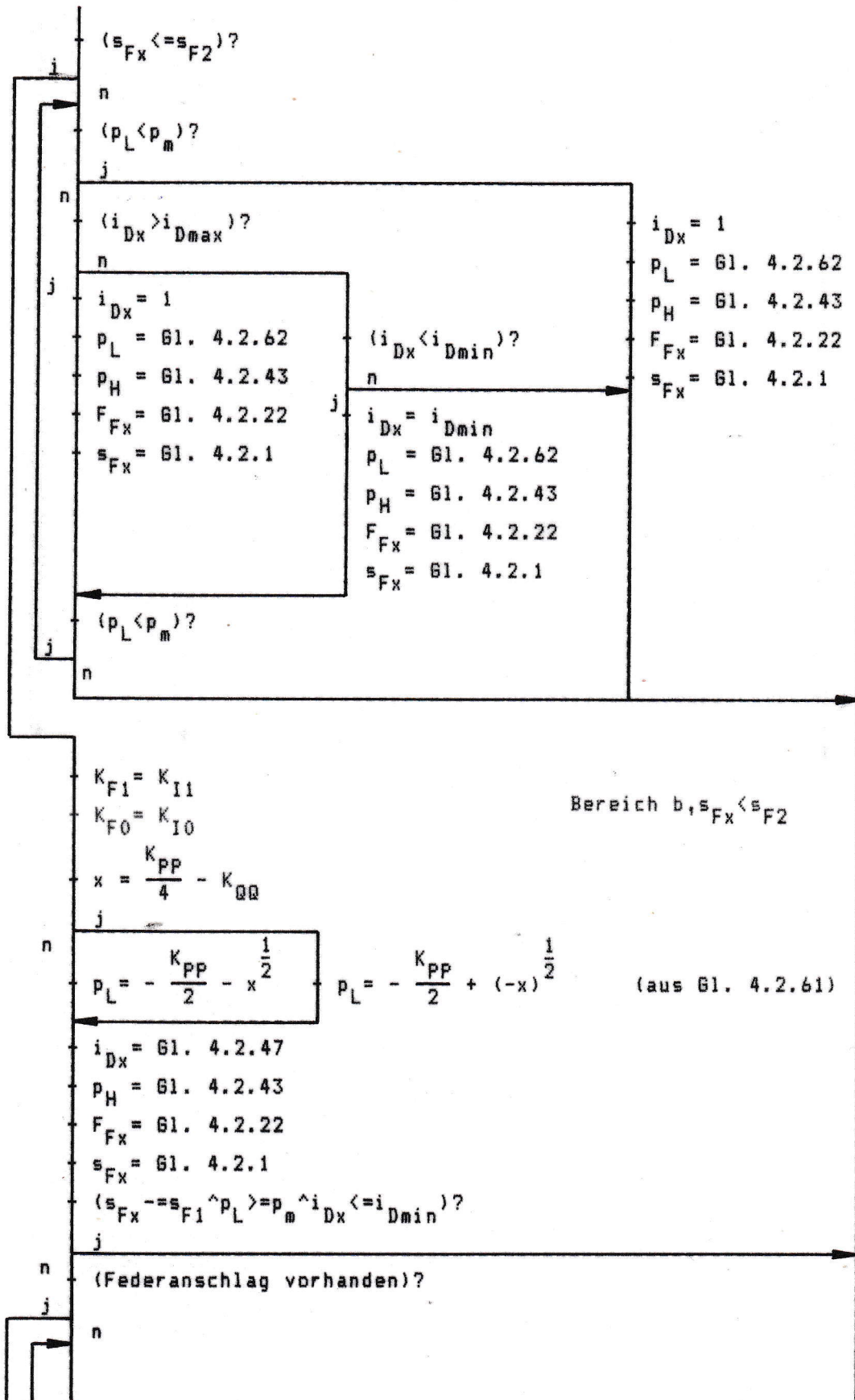
- statischer Druckregler

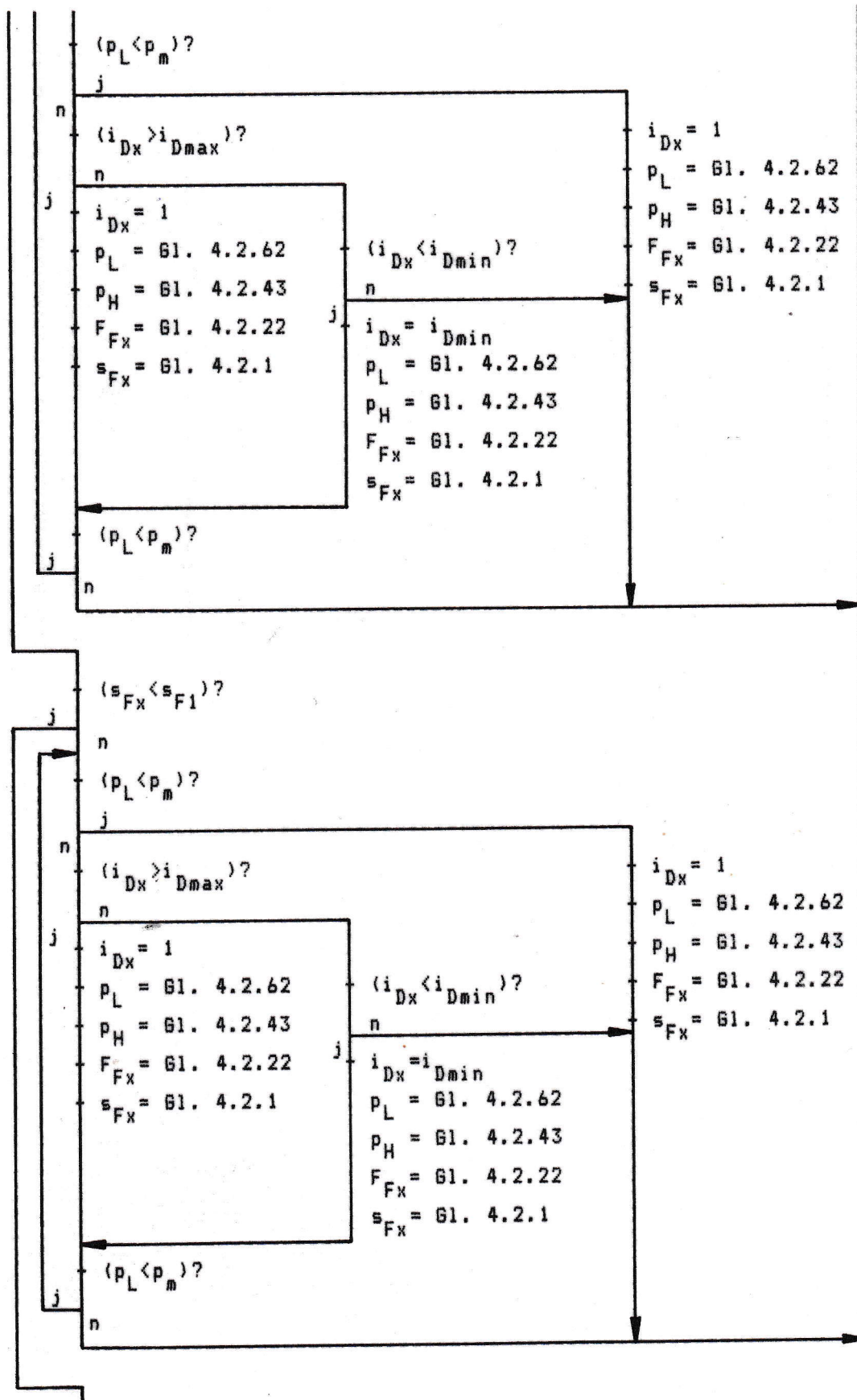


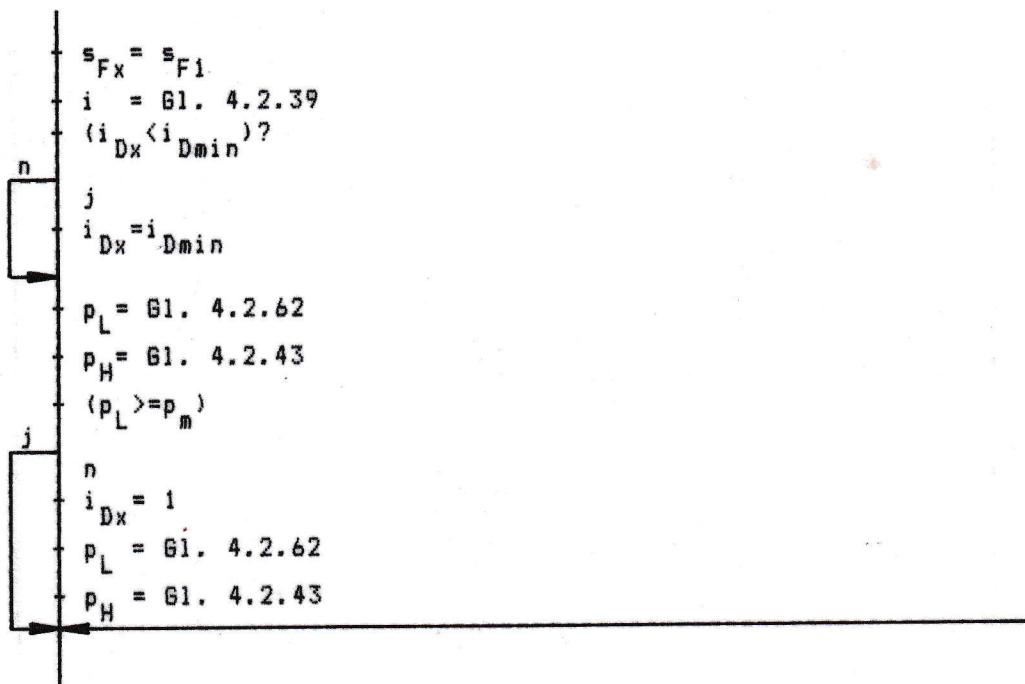


- dynamischer Druckregler









Ein- und Ausgabekenngrößen der Programmsysteme ALB, ALBW,
ALBH und ALBS

1. ALB

Eingabegrößen:

C_{Vauf} , C_{Vabl} , C_{Hauf} , C_{Habl}	- innere Übersetzung der Bremsbacke bzw. des Bremsklotzes vorn auflaufend, vorn ablaufend, hinten auflaufend, hinten ablaufend
d_{Vauf} , d_{Vabl} , d_{Hauf} , d_{Habl}	- Radbremszylinderdurchmesser vorn auflaufend, vorn ablaufend, hinten auflaufend, hinten ablaufend
F_{Vauf} , F_{Vabl} , F_{Hauf} , F_{Habl}	- auf die Kolbenachse des Radbremszylinders bezogene Rückzugsfederkraft vorn auflaufend, vorn ablaufend, hinten auflaufend, hinten ablaufend
r_{mV} , r_{mH}	- mittlerer Reibradius der Bremstrommel bzw. Bremsscheibe vorn, hinten
r_{dynV} , r_{dynH}	- dynamischer Reifenhalbmesser vorn, hinten
η_V , η_H	- Wirkungsgrad am Radbremszylinder vorn, hinten
p_m	- Mindestschaltdruck des Bremsdruckreglers
F_{F1} , F_{F2} , F_{F3}	- Federkräfte der Hinterachsfedern
s_{F1} , s_{F2} , s_{F3}	- Federwege der Hinterachsfedern
F_{Achs}	- Gewichtskraft der unabgefederten Hinterachsmasse
s_L	- Länge des Längslenkers
PF	- Schalter, der angibt, ob eine Ausfederbegrenzung an der Hinterachse vorhanden ist
KL	- Fahrzeugklasse, gemäß der ECE-Regelung Nr. 13
LE	- Anzahl der Beladungszustände
BLSTR	- Name der Beladungsvariante
F_{GK}	- Gewichtskraft des Kraftfahrzeugs
F_{VK}	- vordere statische Achslast des Kraftfahrzeugs
h_{SK}	- Schwerpunkthöhe
p_{Su} , p_{So}	- Schaltdruck des Druckreglers unterer, oberer (Einstellwert, nur für Knickregler)

i_{Du}, i_{Do}	- Übersetzung des Druckreglers untere, obere (Einstellwerte, nur für Strahlenregler)
F_{QHu}, F_{QHo}	- statische Hinterachslast für Druckreglereinstellung untere, obere
i_D	- Übersetzung des Druckreglers (nur für Knickregler)
i_{Dmin}, i_{Dmax}	- Grenzübersetzung des Druckreglers (nur für Strahlenregler) minimale, maximale

Ausgabegrößen (jeweils für statische und dynamische Arbeitsweise):

a', a'_V, a'_H	- Abbremsung gesamt, vorn, hinten
P_L, P_H	- Bremsdruck vorn, hinten
P_S	- Schaltdruck (nur für Knickregler)
i_{Dx}	- Übersetzungsverhältnis des Druckreglers (nur für Strahlenregler)
f_V, f_H	- Reibungszahlbedarf vorn, hinten
s_{Fx}	- Federweg
$a'_{ECE}, a'_{VECE}, a'_{HECE}$	- Abbremsung der ECE-Grenzkurven gesamt, vorn, hinten
$f_{ECE}, f_{VECE}, f_{HECE}$	- Reibungszahlbedarf der ECE-Grenzkurven gesamt, vorn, hinten

2. ALBW

Außer den Ein- und Ausgabegrößen des Programmsystems ALB gelten die folgenden Eingabegrößen:

M_{WV}, M_{WH}	- rotatorische Widerstandsmomente vorn, hinten
J_{TV}, J_{TH}	- rotatorische Trägheitsmomente vorn, hinten
f_{RV}, f_{RH}	- Rollwiderstandszahl vorn, hinten
F_{LK}	- Luftwiderstandskraft des Kraftfahrzeugs
h_{LK}	- Höhe des Luftangriffspunktes des Kraftfahrzeugs
IDIFF	- Anordnung des Differentials 1 - an der Karosse (Rahmen) gelagert bzw. nichtangetriebene Hinterachse, 2 - im Hinterachsgehäuse gelagert

3. ALBH

Außer den Ein- und Ausgabegrößen der Programmsysteme ALB und ALBW gelten die folgenden Eingabegrößen:

F_{LA}	- Luftwiderstandskraft des Anhängers
h_{LA}	- Höhe des Luftangriffspunktes des Anhängers
F_{Kup}	- statische Stützlast der Anhängerkupplung
h_{SA}	- Schwerpunkthöhe des Anhängers
h_z	- Höhe der Zugvorrichtung (Gelenk)
l_{ZK}	- Abstand zwischen Hinterachsmittle des Kraftfahrzeugs und Zugvorrichtung (Gelenk)
l_{ZA}	- Abstand zwischen Achsmittle des Anhängers und Zugvorrichtung (Gelenk)
K_a	- Faktor für die Abbremsung des Anhängers

4. ALBS

Außer den Eingabegrößen der Programme ALB, ALBW und ALBH (ausgenommen r_{mV} , r_{mH} , C_{Vauf} , C_{Vabl} , C_{Hauf} , C_{Habl}) gelten die folgenden Eingabegrößen:

Übergabedatei für die Berechnung der Scheibenbremse vorn, hinten
(mit dem Programm FS4A erstellt)

KPR	- Prüfungstyp
	1 - Dauerbremsung mit konst. Verzögerung
	2 - Dauerbremsung mit konst. Bremsdruck
	3 - Verzögerungsbremsung mit konst. Verzögerung
	4 - Verzögerungsbremsung mit konst. Bremsdruck
	5 - Verzögerungsbremsung mit konst. Bremsdruck und Vorgabe einer mittleren Verzögerung
	6 - ECE-Bremsprüfung Typ I (Fading)
v	- Geschwindigkeit (KPR=1,2)
v_0, v_1	- Anfangs-, Endgeschwindigkeit (KPR3,4,5)
a	- Verzögerung (KPR=1,3)
a_m	- mittlere Verzögerung (KPR=5)
p_L	- Bremsdruck (KPR=2,4)
v_{max}	- Maximalgeschwindigkeit (KPR=6)

$M_{WVO} - M_{WV}, M_{WHO} - M_{WH}$	- Differenz der rotatorischen Widerstandsmomente zwischen den Bremsprüfungen Typ 0 und Typ I vorn, hinten (KPR=6)
$J_{TVO} - J_{TV}, J_{THO} - J_{TH}$	- Differenz der rotatorischen Trägheitsmomente zwischen den Bremsprüfungen Typ 0 und Typ I vorn, hinten (KPR=6)
$F_{LKO} - F_{LK}$	- Differenz der Luftwiderstandskräfte des Kraftfahrzeugs zwischen den Bremsprüfungen Typ 0 und Typ I vorn, hinten (KPR=6)
$F_{LAO} - F_{LA}$	- Differenz der Luftwiderstandskräfte des Anhängers zwischen den Bremsprüfungen Typ 0 und Typ I vorn, hinten (KPR=6)
n_{Zykl}	- Anzahl der Zeitschritte
dt	- Länge eines Zeitschritts
DPT	- Genauigkeit der Berechnungen (Iterationsschleifen)
K_{DPT}	- Anzahl der Iterationsschleifen gleicher Genauigkeit

Außer den Ausgabegrößen der Programme ALB, ALBW und ALBH (ausgenommen $r_{mV}, r_{mH}, C_{Vauf}, C_{Vabl}, C_{Hauf}, C_{Habl}$) gelten die folgenden Ausgabegrößen (jeweils für statische und dynamische Arbeitsweise):

r_{mV}, r_{mH}	- mittlerer Reibradius der Bremsscheibe vorn, hinten
t	- Zeit
v	- Fahrgeschwindigkeit
P_{RV}, P_{RH}	- Bremsleistung vorn, hinten
C_V, C_H	- innere Übersetzung vorn, hinten
$\vartheta_{SV}, \vartheta_{SH}$	- Temperatur in der Bremsscheibenmitte vorn, hinten
$\vartheta_{S KE+1 V}, \vartheta_{S KE+1 H}$	- Temperatur im Bremsscheibenflansch vorn, hinten
$\vartheta_{S KE+1 V}, \vartheta_{S KE+1 H}$	- Temperatur im Bremsscheibenflansch vorn, hinten
$\vartheta_{F2 V}, \vartheta_{F2 H}$	- Temperatur in der Felge vorn, hinten
$\vartheta_{TV}, \vartheta_{TH}$	- Temperatur im Bremsträger vorn, hinten
$\vartheta_{BV}, \vartheta_{BH}$	- Temperatur im Bremssattel vorn, hinten
W_{RV}, W_{RH}	- Reibarbeit vorn, hinten

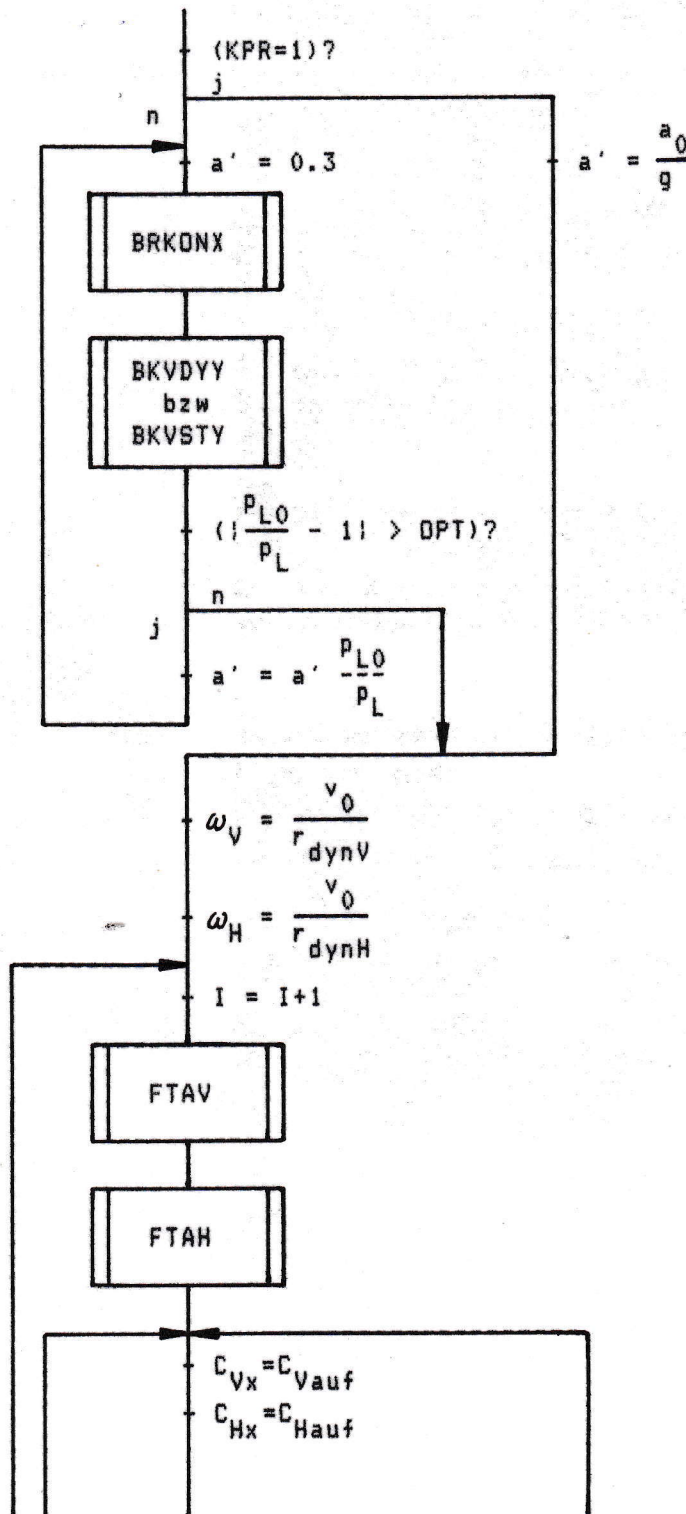
Funktion der Programmodule

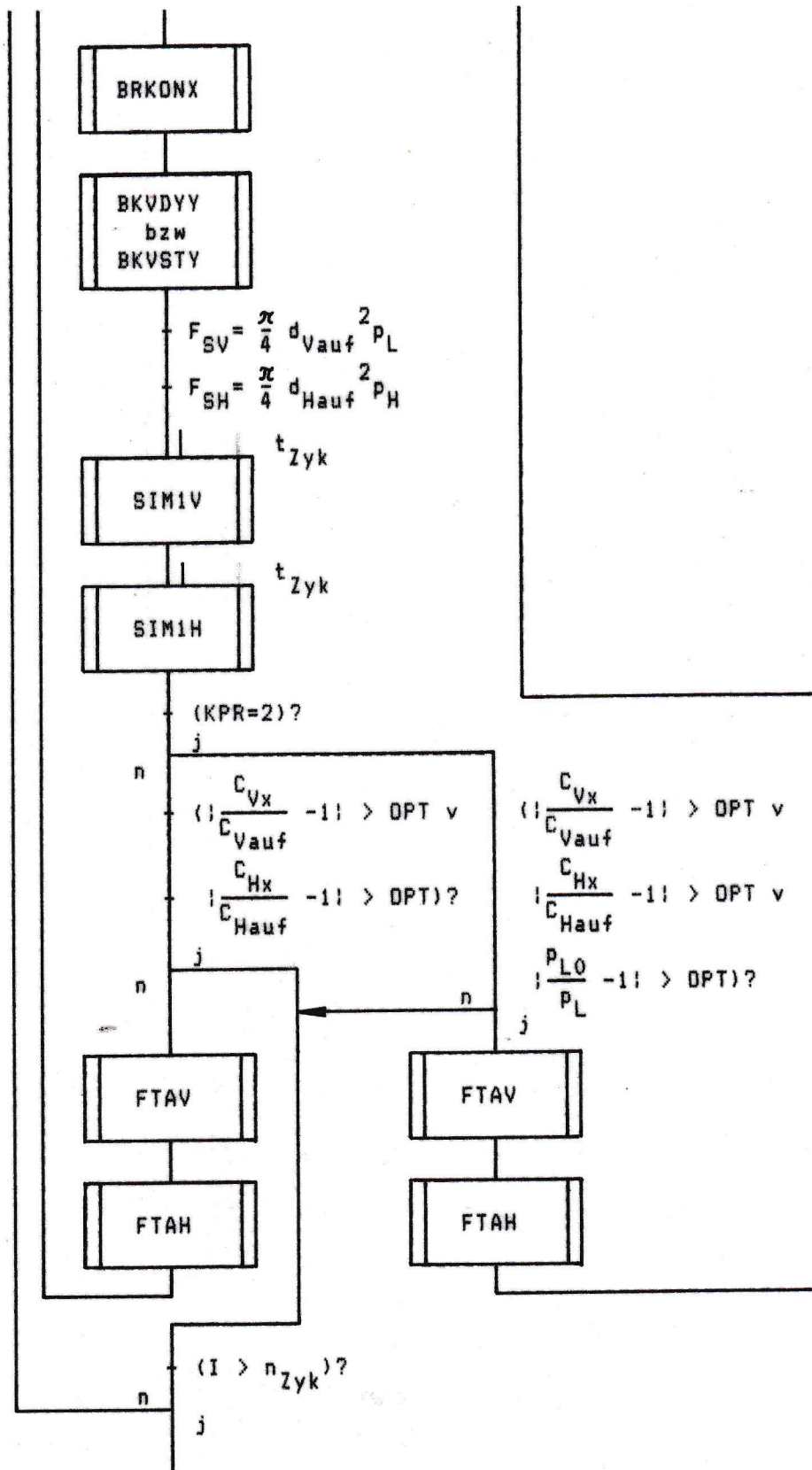
Modul	Funktion
ALBKN, ALBM, ALBX, ALBSIY	Hauptprogramme Auswahl der Graphikstation, Menuesteuerung und Steuerung der Unterprogramme
AUSGFL, AUSGFM, AUSGFX, AUSGFY	Unterprogramme zur numerischen Ausgabe der Ein- und Ausgabewerte des Programmsystems auf eine Datei
BKVBR, BKVBRM, BKVBRX, BKVBRY	Unterprogramme zur Steuerung der Berechnungsvariante
BKVDSA, BKVSSA, BKVDSB, BKVSSB, BKVDSC, BKVSSC	Steuerprogramme zur Simulation der geregelten Schei- benbremsanlage
BKVDY, BKVDYM, BKVDYX, BKVDYY, BKVDY1, BKVDY2, BKVDY3, BKVDY4, BKVDY5, BKVDY6, BKVD1M, BKVD2M, BKVD3M, BKVD4M, BKVD5M, BKVD6M, BKVD1X, BKVD3X, BKVD5X, BKVD6X	Unterprogramme zur dynamischen Berechnung entsprechend Anlage 1 und 2
BKVST, BKVSTM, BKVSTX, BKVSTY	Unterprogramme zur statischen Berechnung entsprechend Anlage 1 und 2
BRKON, BRKONM BRKONX	Unterprogramme zur Berechnung der Konstanten $C_{DV}, C_{DH}, C_{FV}, C_{FH}, i_{Achs}$ $K_{U0}, K_{U1}, K_{V0}, K_{V1}, K_{X0}, K_{X1}, K_{X2}$
CON1, CON1H TPRG, TPRGH RBWT, RBWTH DSU4, DSU4H DSU5, DSU5H FLAE, FLAEH RMFL, RMFLH	Unterprogramme zur Simulation der Scheibenbremsen an Vorder- und Hinterachse aus [41] modifiziert
ECEGK, ECEGKM, ECEGKX, ECEGK1, ECEGK2, ECEG1X, ECEG2X, ECEG1, ECEG2	Unterprogramme zur Berechnung der ECE-Grenzkurven (Abschnitt 4.2.3., 4.3.4 und 4.4.4.)
EGFZA, EGFZAX, EGFZAY	Unterprogramme zur Eingabe von $F_{GK}, F_{VK}, h_{SK}, l_K$ $F_{GA}, F_{VA}, h_{SA}, l_{ZK}, l_{ZA}, K_a$

Modul	Funktion
EGKON, EGKONS	Unterprogramme zur Eingabe von $C_{Vauf}, C_{Vabl}, C_{Hauf}, C_{Habl}, d_{Vauf}, d_{Vabl}, d_{Habl}, d_{Habl},$ $F_{Vauf}, F_{Vabl}, F_{Hauf}, F_{Habl}, r_{mV}, r_{mH}, r_{dynV}, r_{dynH},$ $\varrho_V, \varrho_H, p_m, F_{F1}, F_{F2}, F_{F3}, s_{F1}, s_{F2}, s_{F3}, F_A, s_L$
EGLAD	Unterprogramm zur Eingabe von $P_{Su}, P_{So}, F_{Hu}, F_{Ho}, i_D$ - Knickregler $i_{Du}, i_{Do}, F_{Hu}, F_{Ho}, i_{Dmin}, i_{Dmax}$ - Strahlenregler
EGPR	Unterprogramm zur Eingabe und Berechnung der Steuergrößen zur Simulation der geregelten Scheibenbremsanlage $v, v_0, v_1, v_2, v_{max}, a, a_0, a_1, a_m, t_0, t_1, t_2, n_{Zyk}, t_{ges}$
EGWID, EGWIDX	Unterprogramme zur Eingabe von $M_{WV}, M_{WH}, J_{TV}, J_{TH}, f_{RV}, f_{RH}, f_{LK}, h_{SK}$ F_{LA}, h_{SA}
EINGV, EINGH	Unterprogramme zum Einlesen der mit dem Programmsystem FS4A [41] ermittelten Scheibenbremsenkenngößen
FTEYV, FTEYH FTAYV, FTAYH FTEV, FTEH FTAV, FTAH	Unterprogramme zur Zwischenspeicherung der aktuellen Temperaturen der Simulationsberechnungen
GKSMUE, GKSMUY	Unterprogramme zur graphischen Ausgabe auf Farbgraphikdisplay
GKSDMP, GKSDMY	Unterprogramme zur graphischen Ausgabe auf Farbplotter
LADKO	Unterprogramm zur Berechnung der Konstanten $K_{I0}, K_{I1}, K_{II0}, K_{III}, K_{S0}, K_{S1}$
LADFD	Unterprogramm zur Berechnung des Federwegs s_{Fx}
SIM1V, SIM1H	Steuerprogramme zur Simulation der Scheibenbremsen an Vorder- und Hinterachse

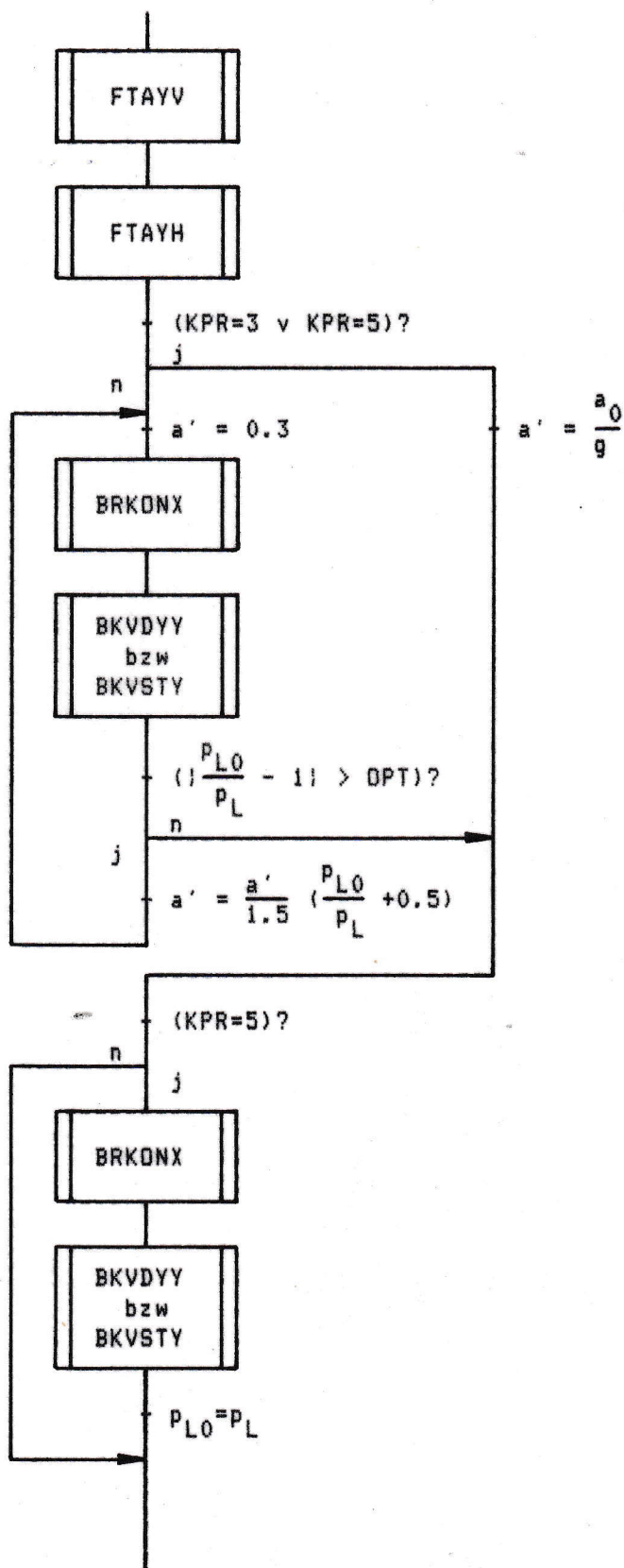
Vereinfachter Algorithmus für die Programmmodule BKVDSA, BKVSSA, BKVDSB, BKVSSB, BKVDSC und BKVSSC

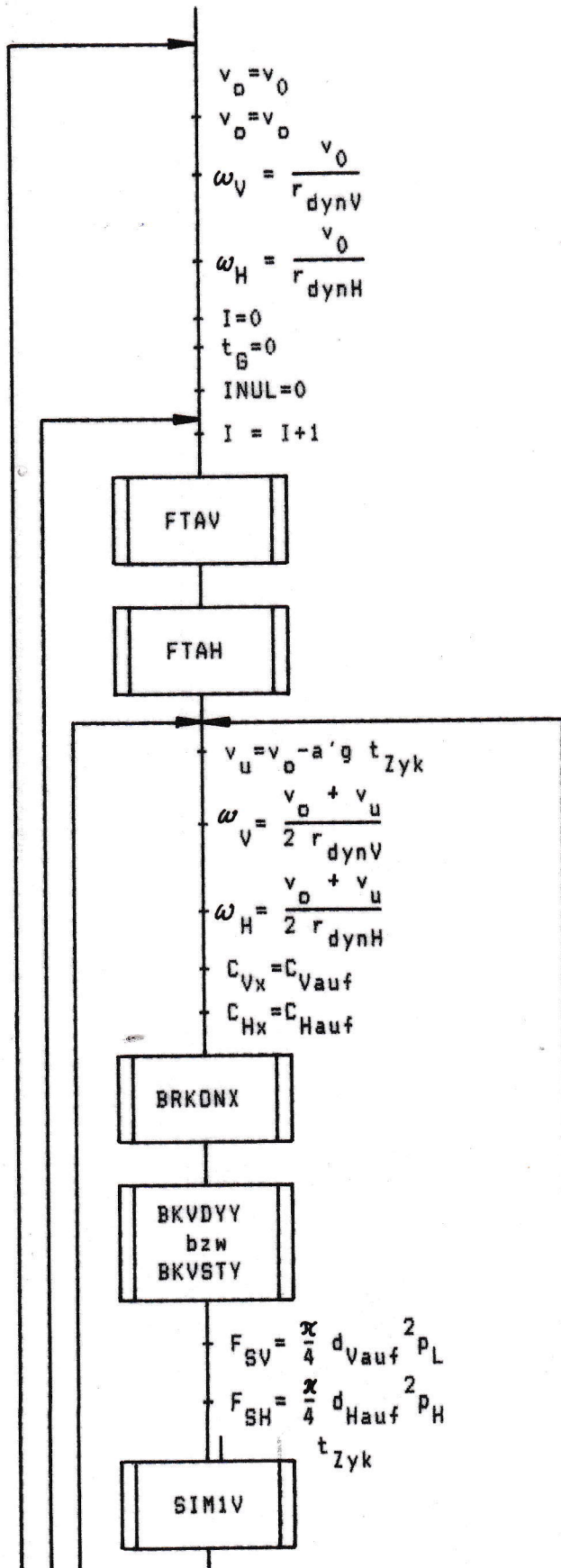
- BKVDSA und BKVSSA

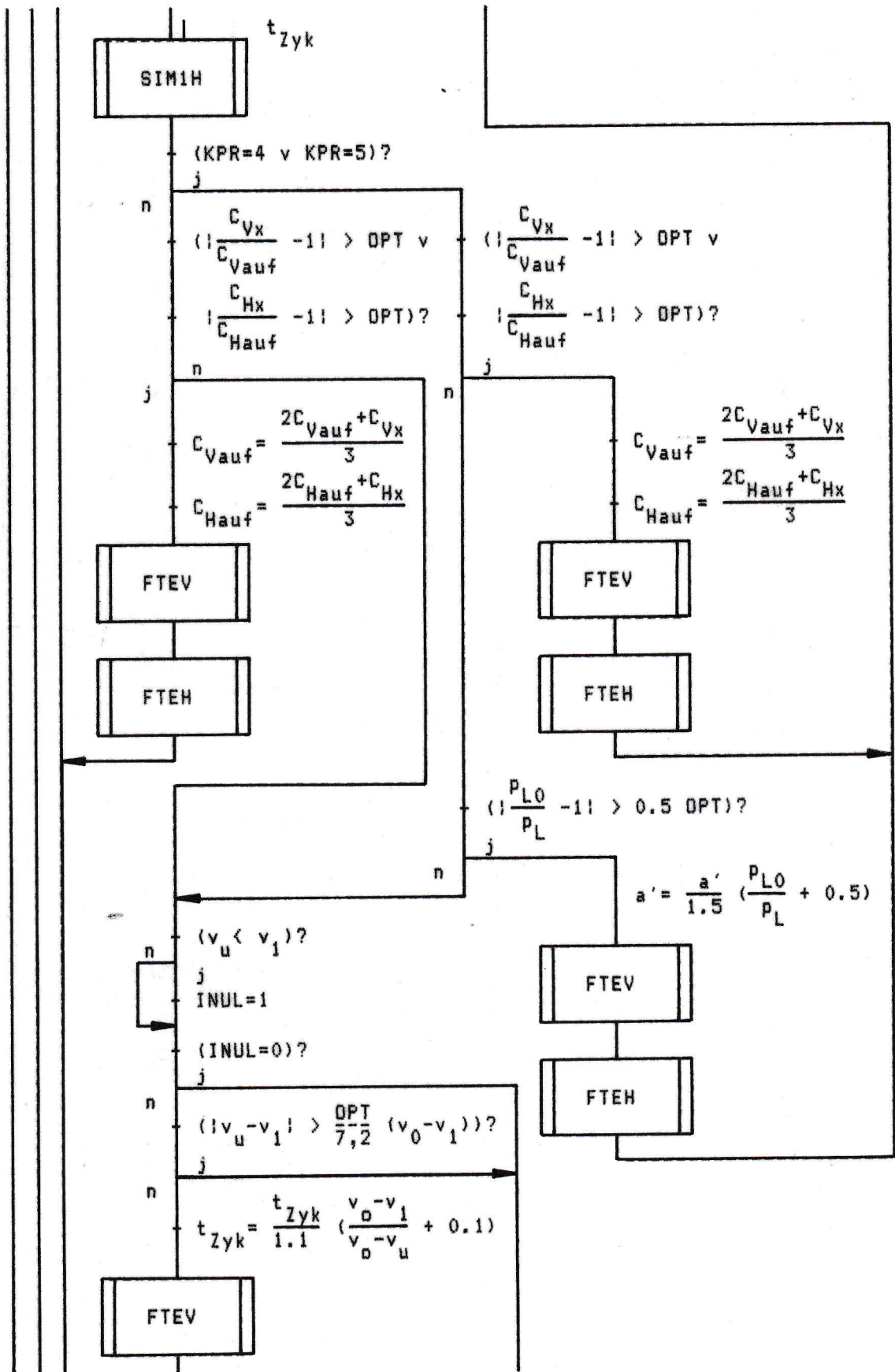


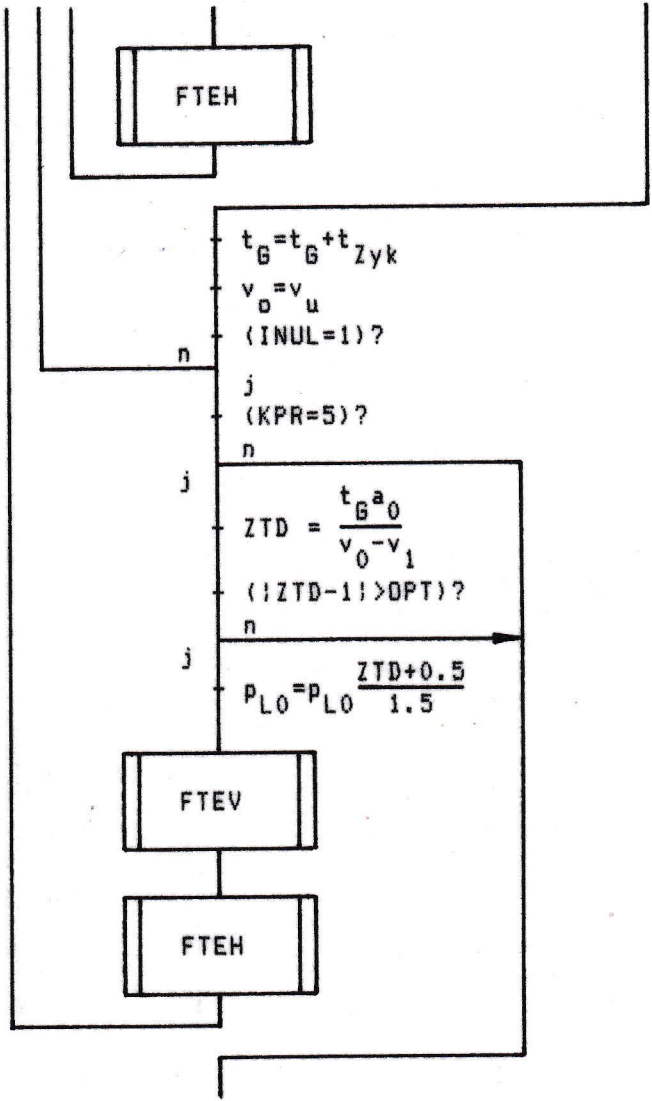


- BKVDSB und BKVSSB



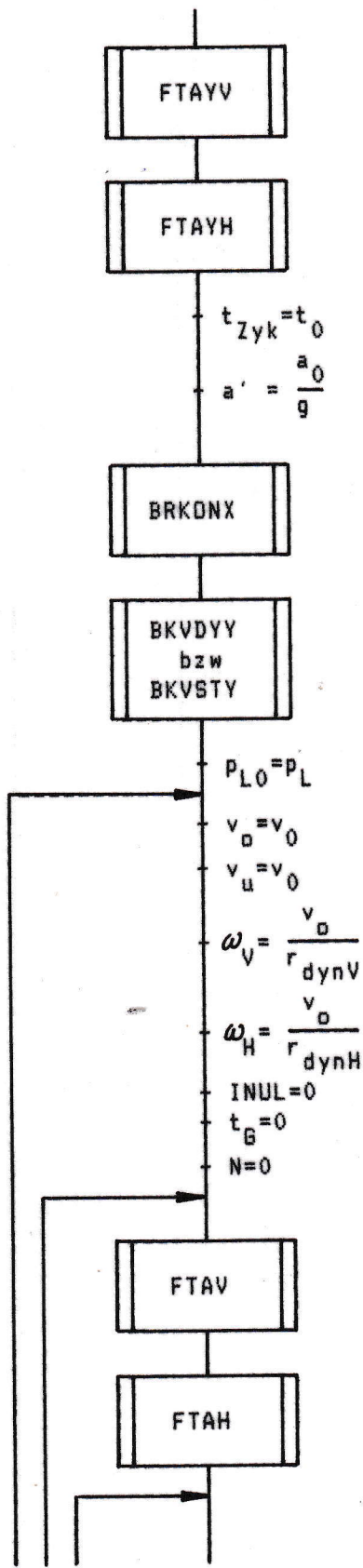


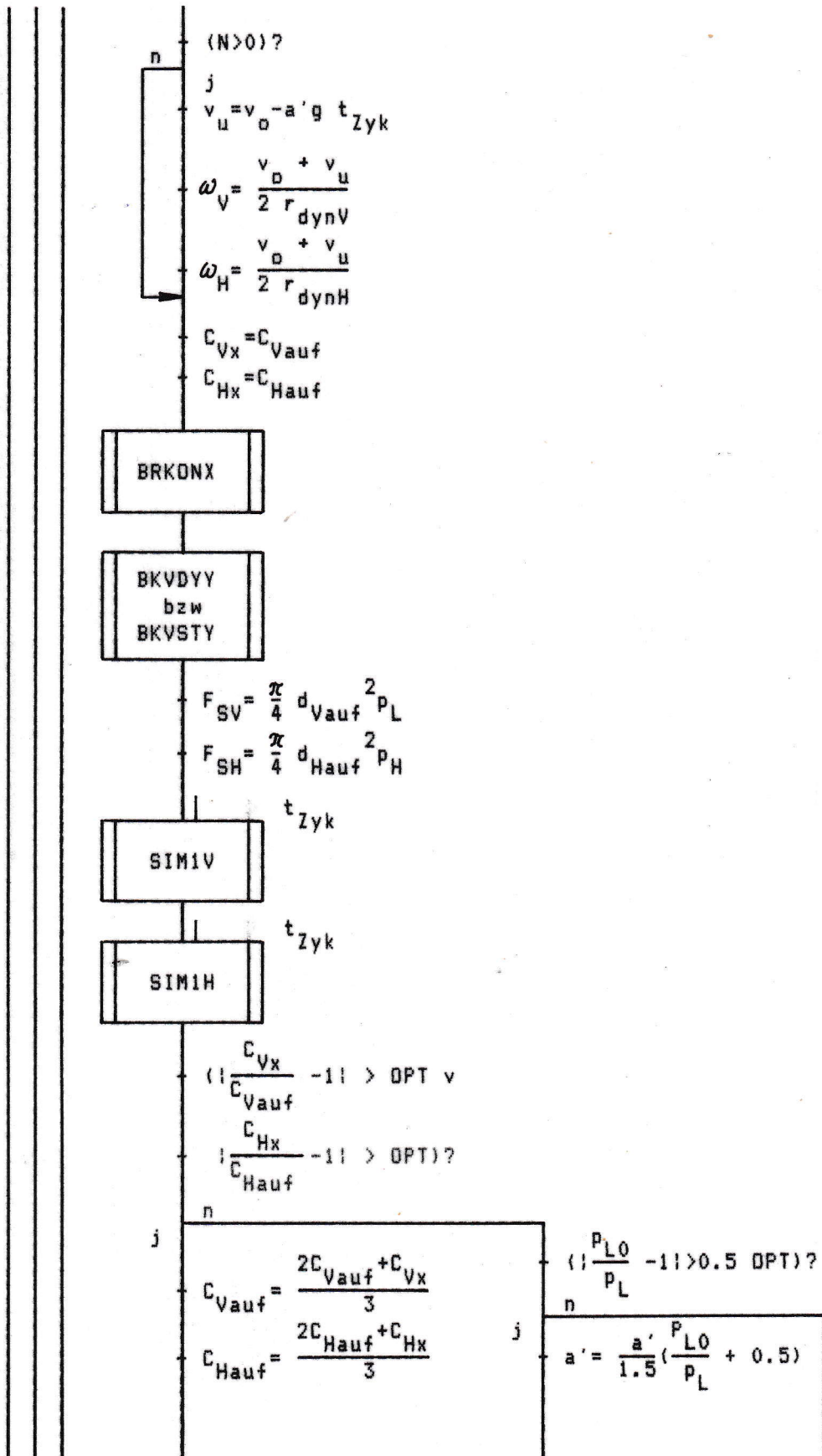


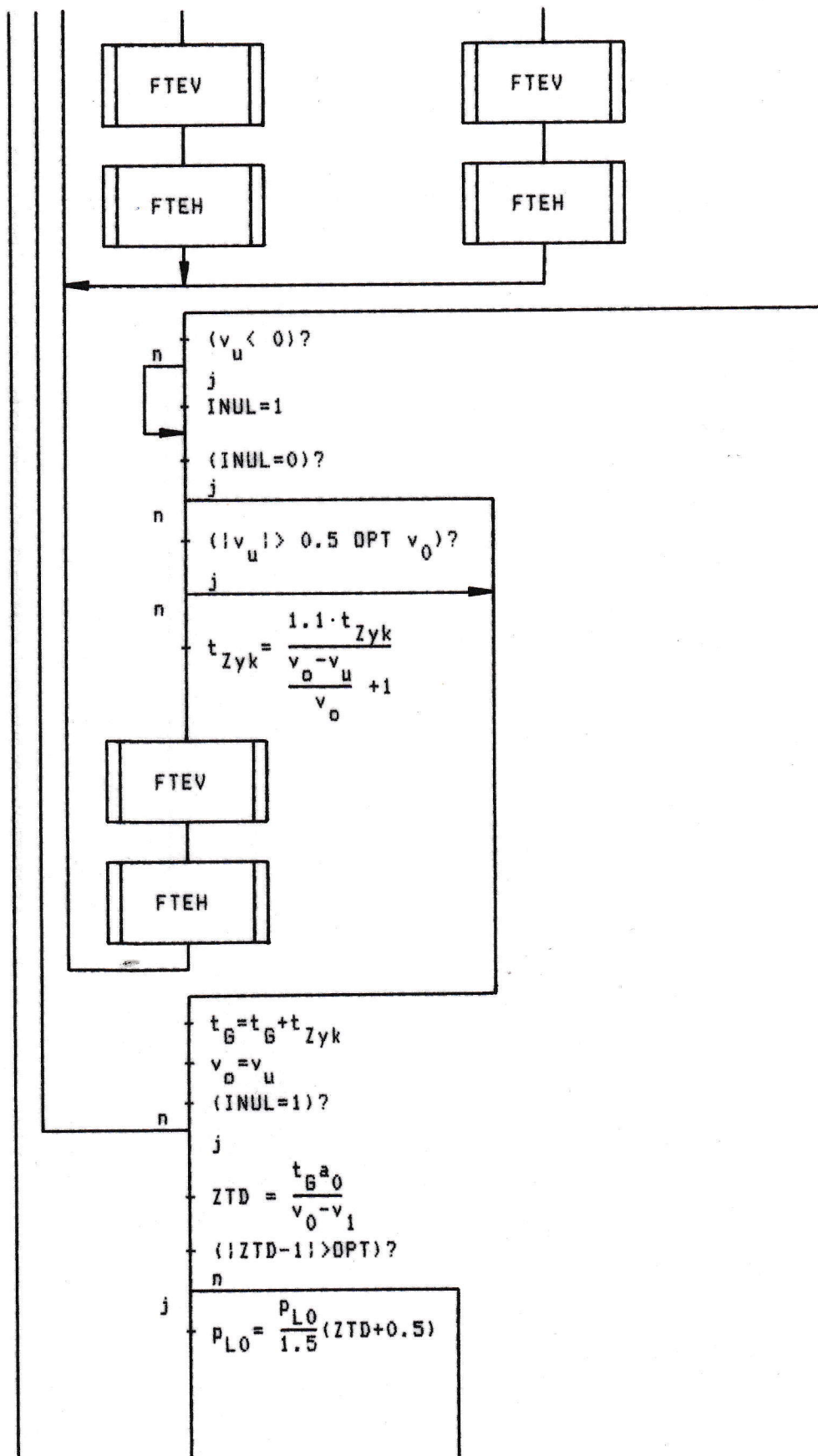


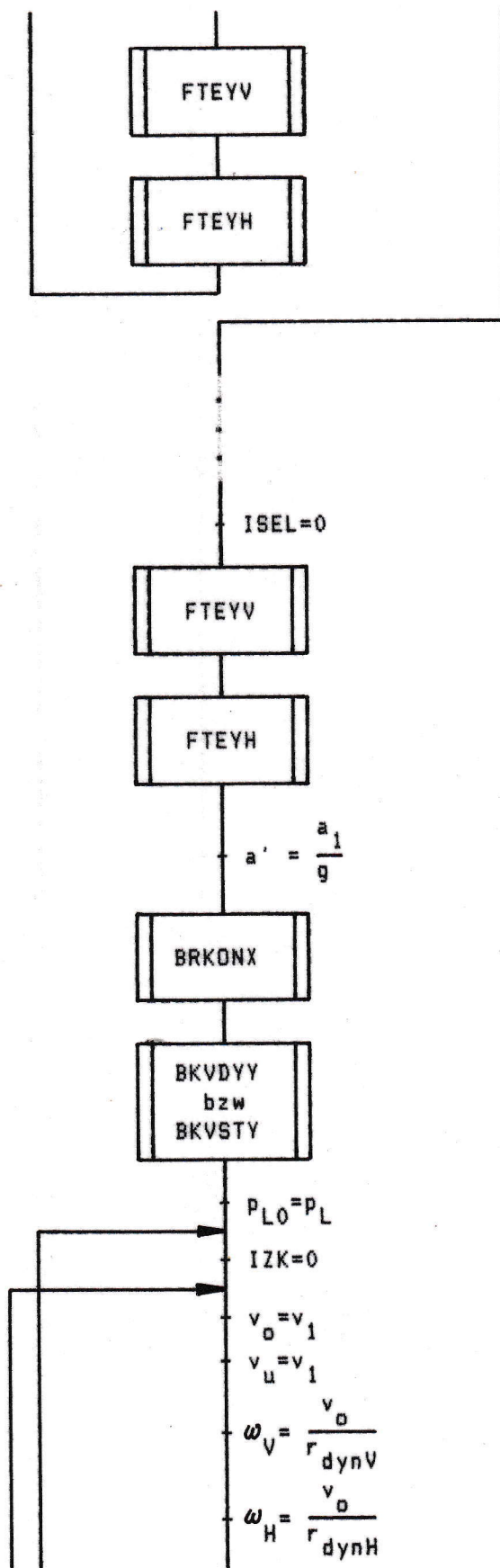
- BKVDSC und BKVSSC

ECE-Bremsprüfung Typ 0 -
kalt, ausgekuppelt

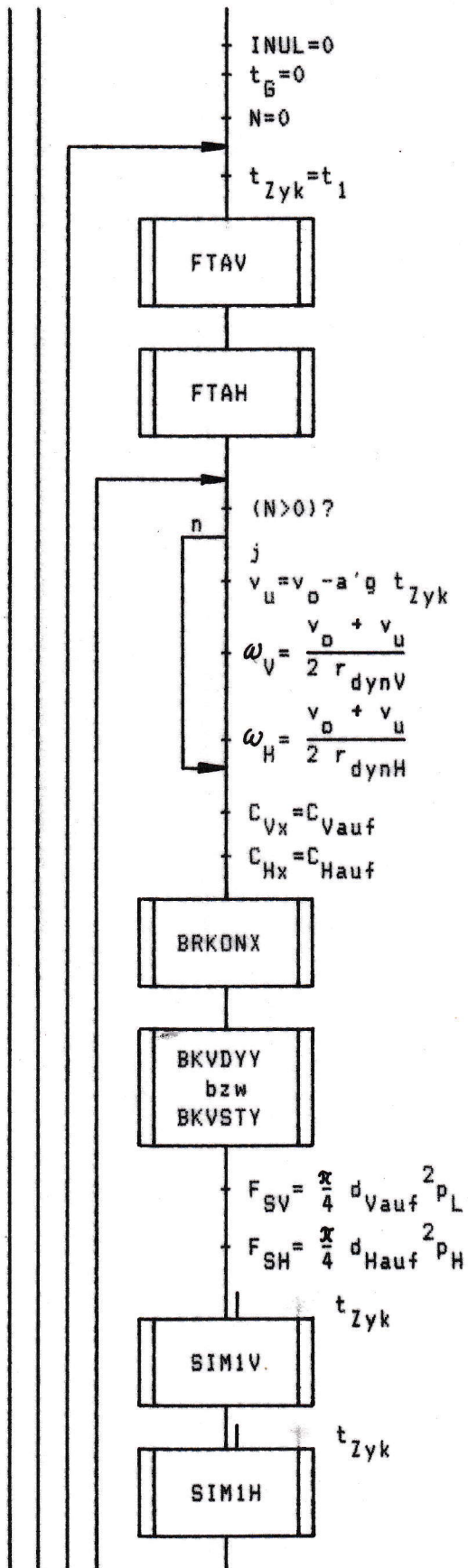


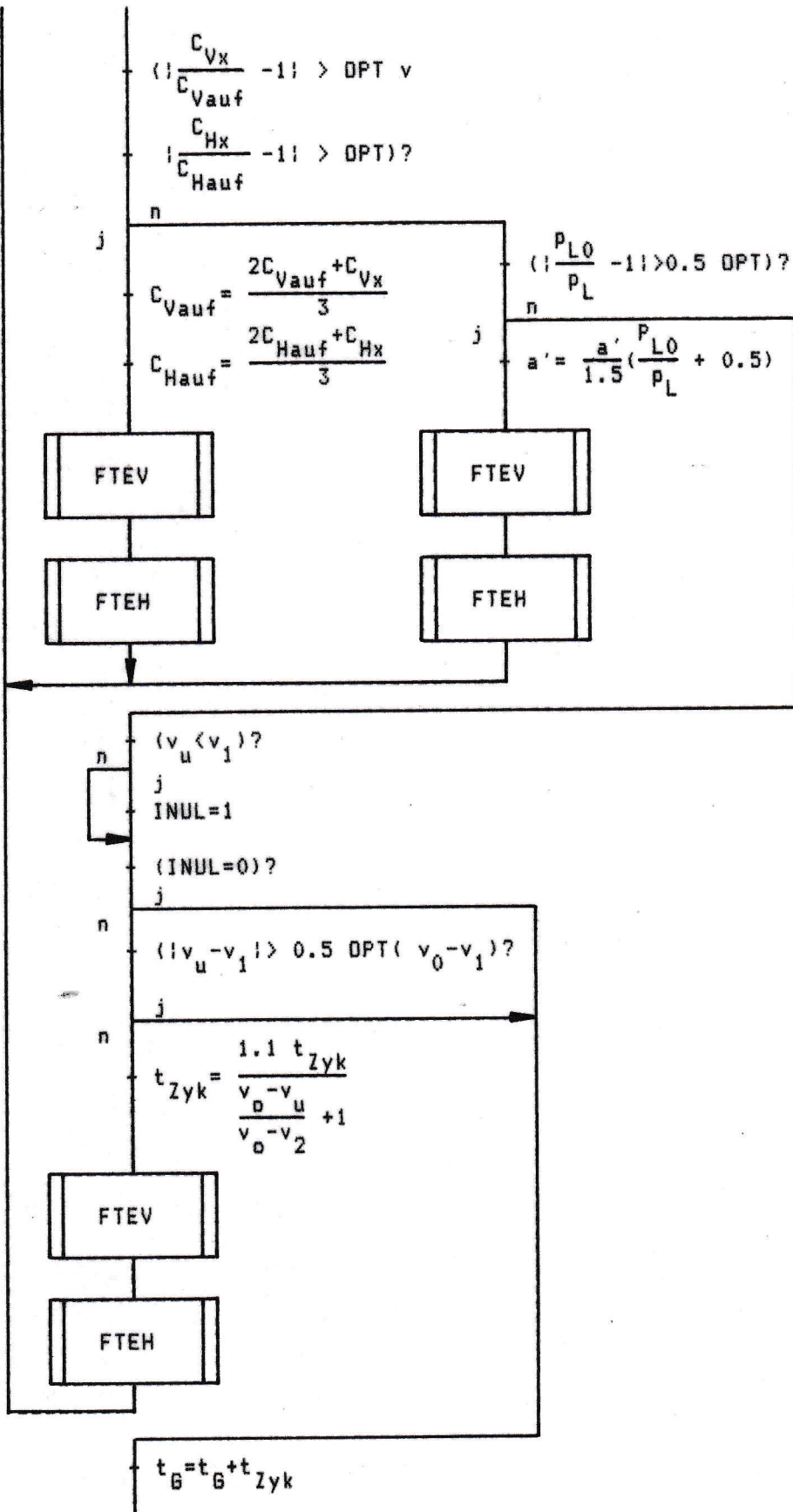


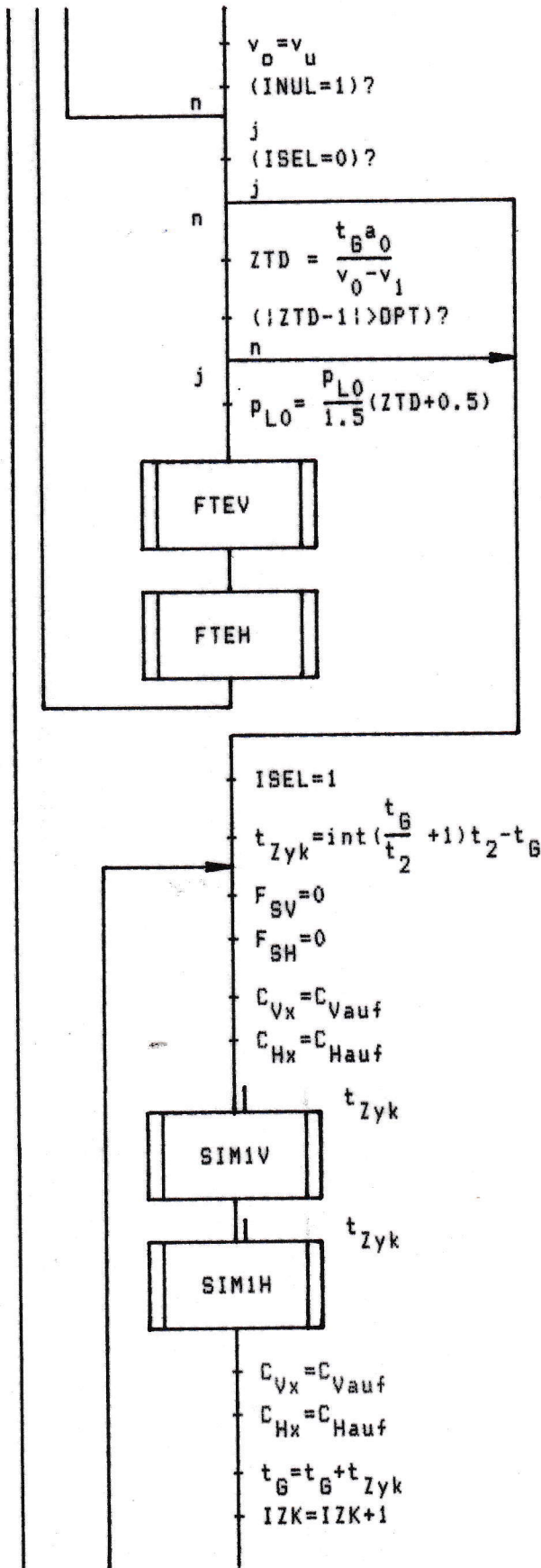


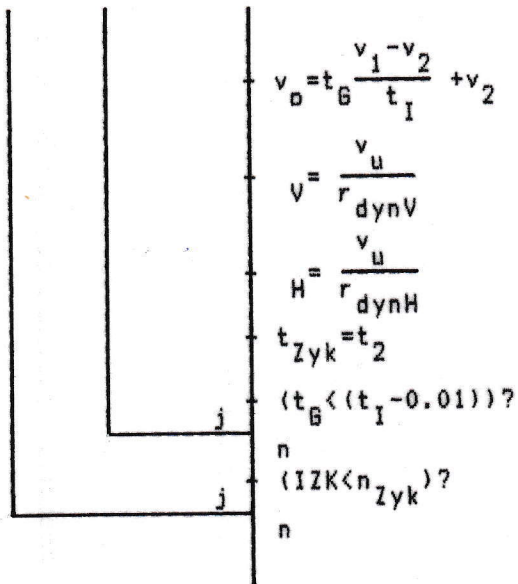


ECE-Bremsprüfung Typ I -
eingekuppelt

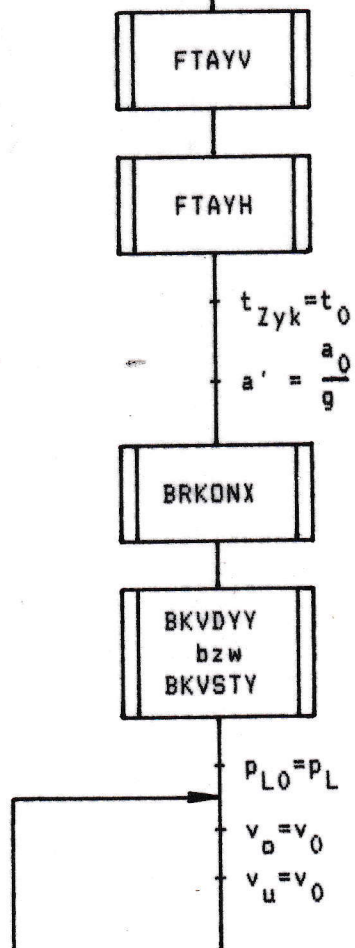


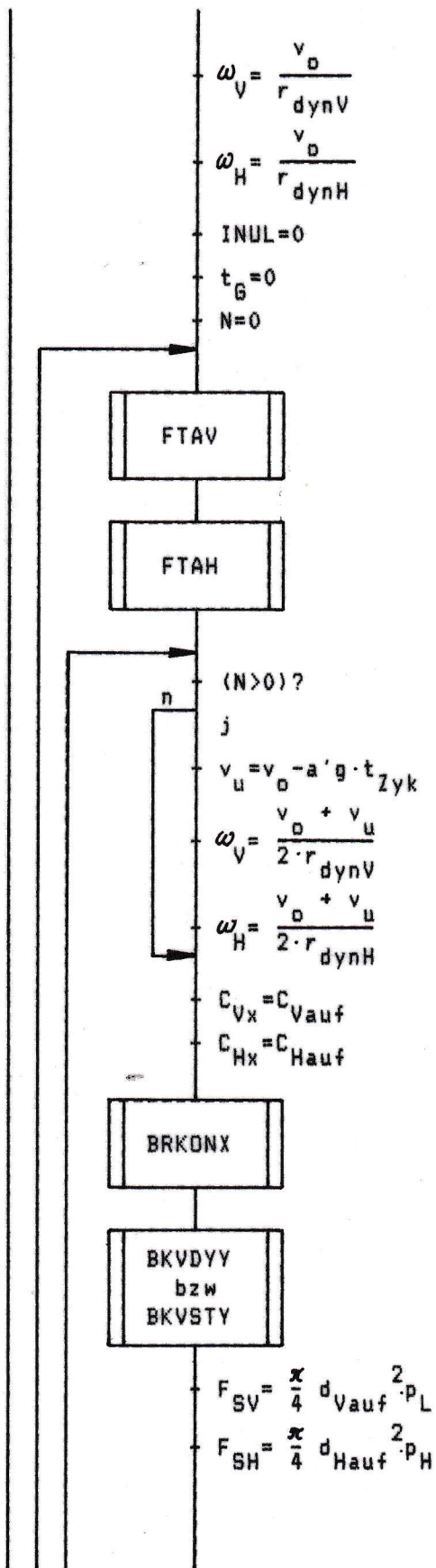


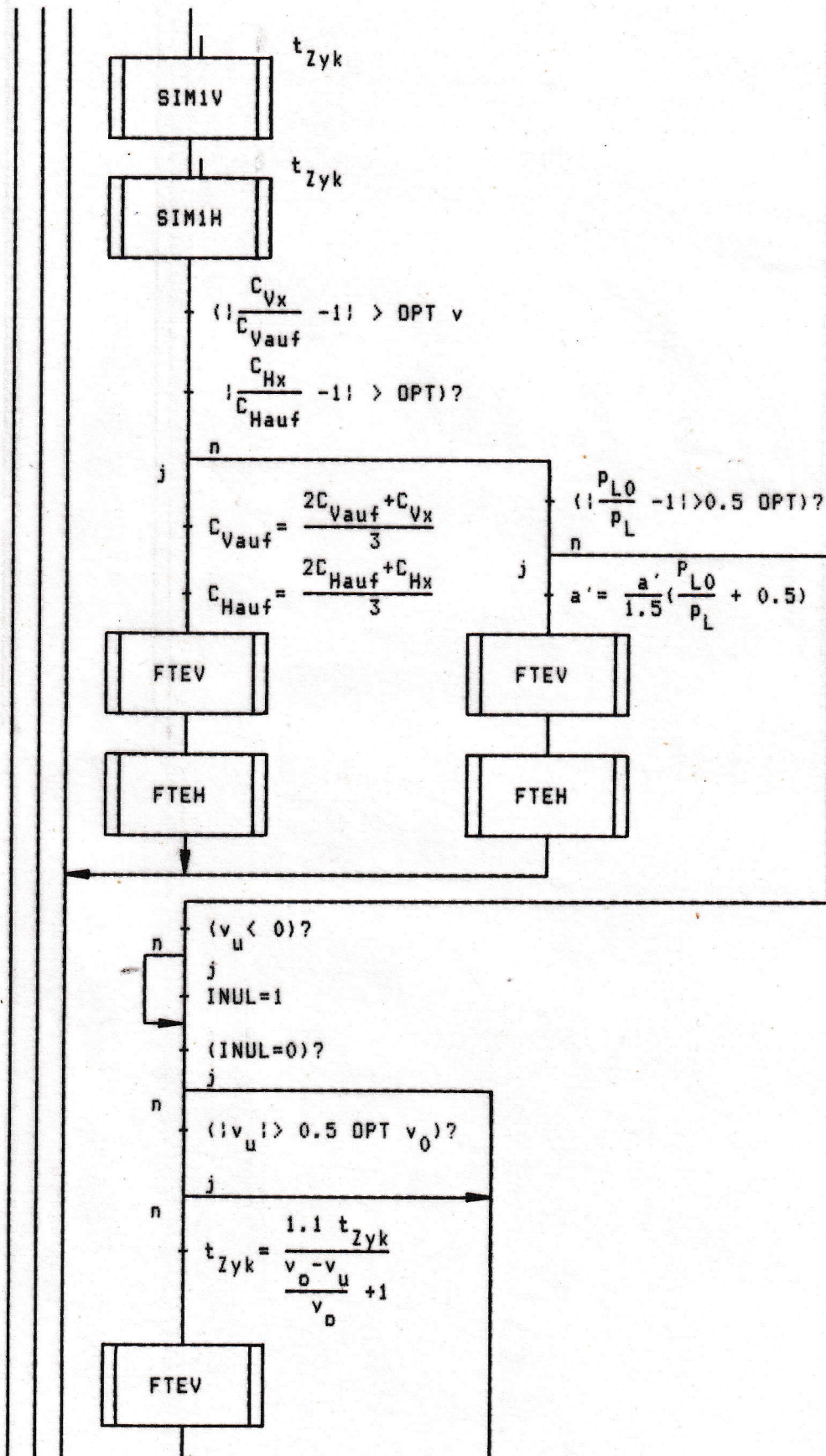


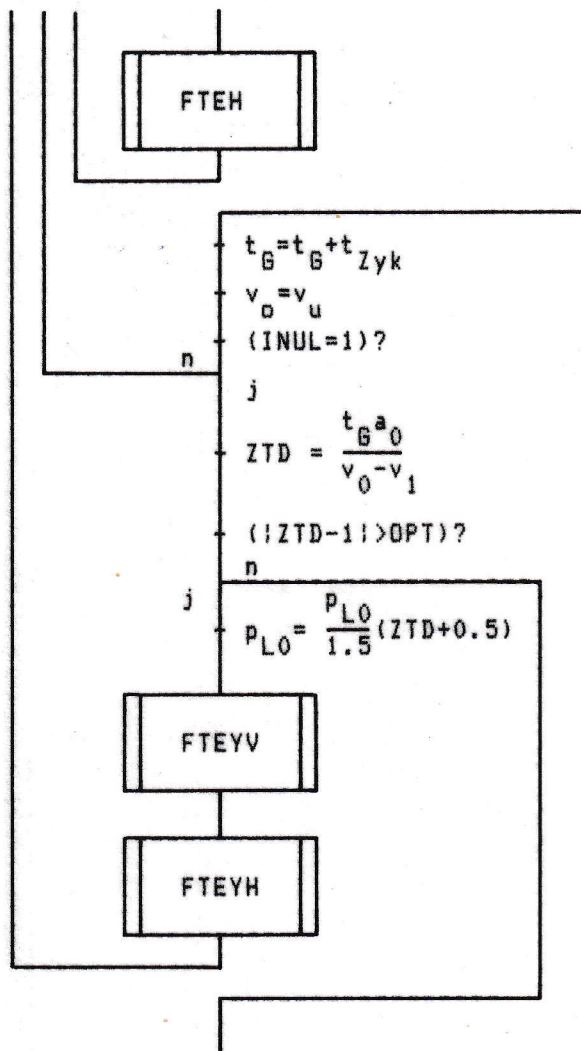


ECE-Bremsprüfung Typ 0 -
warm, ausgekuppelt









Anmerkungen

- 1 Diese Kenngröße berücksichtigt die auf die Räder einer Achse wirkenden Massenträgheitsmomente. Bei angetriebenen Rädern werden damit auch die auf die Antriebsachse reduzierten Massenträgheitsmomente der Kraftübertragung einschließlich des Motors (sofern bei der Bremsung der Motor eingekuppelt und ein Getriebegang eingelegt ist) beachtet (siehe auch [31]).
- 2 Diese Kenngröße berücksichtigt die an den Rädern einer Achse wirkenden Reibkräfte bzw. -momente, wie zum Beispiel den Getriebewiderstand und das Motorschleppmoment (sofern bei der Bremsung der Motor eingekuppelt und ein Getriebegang eingelegt ist), jedoch nicht die aus den Massenträgheitsmomenten resultierenden Momente (siehe auch [31]).
- 3 Als hydraulischer Wirkungsgrad wird das Verhältnis aus der tatsächlich auf die Bremsbacke bzw. den Bremsklotz wirkende Zuspannkraft und der vom Bremsdruck erzeugten Kraft bezeichnet, d. h. diese Kenngröße berücksichtigt Einflüsse durch Reibkräfte am Kolben.
- 4 Bei Trommelbremsen bedeutet "auflaufend", daß die Richtung der auf die entsprechende Bremsbacke wirkenden Zuspannkraft der Drehrichtung der Bremstrommel entspricht, und "ablaufend", daß die Richtung der auf die entsprechende Bremsbacke wirkenden Zuspannkraft entgegengesetzt der Drehrichtung der Bremstrommel ist. Da bei Scheibenbremsen im Prinzip zwei gleichartige Bremsklötze vorhanden sind, ist eine derartige Unterscheidung bedeutungslos. Um eine Vereinheitlichung der Berechnungsgrundlagen zu ermöglichen, werden aber die Bezeichnungen der Trommelbremse verwendet. Bei der Betrachtung wird davon ausgegangen, daß jeder Radbremse zwei Reibpaarungen zugeordnet sind, wobei jeder Reibpaarung (Bremsklotz oder Bremsbacke) eine innere Übersetzung, eine auf die Kolbenachse bezogene Rückzugsfederkraft, ein Bremszylinderdurchmesser und ein hydrau-

lischer Wirkungsgrad zugeordnet ist. Damit können z. B. auch Stufenradzylinder an Trommelbremsen berücksichtigt werden. Sollen Einkolbenschwimmsattelscheibenbremsen berechnet werden, so gilt der Kolbendurchmesser für beide Bremsklötze. Bei Zweikolbenschwimmsattelscheibenbremsen ist aus der Gesamtfläche der beiden Kolben ein (Ersatz-) Radzylinderdurchmesser zu ermitteln.

- 5 Die hinsichtlich der Übersichtlichkeit und der Einhaltung eines maximalen Umfangs der vorliegenden Arbeit vorgenommene Einschränkung, nur durch die Einfederung der Hinterachse lastabhängig angesteuerte hydraulische Bremsdruckregler zu beachten, bedeutet nicht, daß mit den vorliegenden Berechnungsverfahren keine anderen Bremsdruckreglerbauarten untersucht werden können. Festeingestellte Bremsdruckregler (keine lastabhängige Ansteuerung) können z. B. dadurch berücksichtigt werden, daß die Einstellwerte p_{Su} und p_{So} gleichgesetzt werden. Bei Kraftfahrzeugen mit Niveauregulierung können die Drücke im Federungssystem der Hinterachse wie Federwege bei mechanischer Hinterachsfederung behandelt werden. Selbst Bremsdruckregler, die verzögerungsabhängig wirken, können zum Teil berücksichtigt werden, da die Ausfederung der Hinterachse proportional der Verzögerung des Fahrzeugs ist, sofern evtl. die die Einfederung der Hinterachse direkt beeinflussenden Momente vernachlässigt werden (siehe Abschnitt 4.1.). In diesem Fall müssen unterschiedliche Einstellwerte der Schaltdrücke p_{Su} und p_{So} für die zu untersuchenden Beladungszustände vorgegeben werden. Natürlich lassen sich auch die Berechnungsverfahren für diese Anwendungsfälle mit vertretbarem Aufwand erweitern. Das ist jedoch nicht Gegenstand der vorliegenden Arbeit.
- 6 Das Übersetzungsverhältnis eines Bremsdruckreglers wird maßgeblich durch das Verhältnis der beiden druckbeaufschlagten Flächen des Differenzkolbens (Abb. 3.1), d. h. Fläche der Primärseite / Fläche der Sekundärseite, bestimmt. Eine genaue Ermittlung des Übersetzungsverhältnis-

ses erfordert experimentelle Untersuchungen, da das Übersetzungsverhältnis auch durch die Gestaltung des Regelventils und der Dichtringe beeinflusst wird. Besitzt der Differenzkolben auf der Primärseite keine Angriffsfläche für den Bremsdruck, wird das Übersetzungsverhältnis Null, der Druckregler wirkt als Druckbegrenzer.

Für die Berechnungsverfahren gilt, daß Hysteresen der Bremsdruckreglerkennlinie nicht berücksichtigt werden.

- 7 Der vorläufige Entwicklungsstand der Berechnungsverfahren berücksichtigt eine dynamische Änderung der Fahrwiderstände während einer Bremsung noch nicht. Auch wird der Schlupf am Rad während des Bremsens nicht behandelt, es werden nur konstante Werte für die dynamischen Reifenhalmesser vorgegeben. Diese Problematik ist weiterführenden Arbeiten vorbehalten. Bei Bremsungen mit großer Verzögerung ist der Einfluß der Fahrwiderstände ohnehin meist zu vernachlässigen, während bei Dauerbremsungen diese allgemein konstant sind.
- 8 Da die Luftwiderstandskräfte das Fahrzeug bzw. den Zug abbremsen, werden sie auch wie Abbremsungen (a') behandelt. Bei der Berücksichtigung des Luftwiderstandes am Fahrzeug mit Einachsanhänger wird davon ausgegangen, daß die Luftwiderstandskräfte am Fahrzeug und am Einachsanhänger FLK und FLA getrennt angegeben werden, um den Einfluß der Luftwiderstandskraft des Anhängers auf die Eigenbremsung des Anhängers (Auflaufbremse) berücksichtigen zu können. Es wird angenommen, daß die beiden Luftwiderstandskräfte am Zug ermittelt werden.
- 9 In den Rechenprogrammen wird statt der Bremskraft F_B eine Verzögerung a (=konst.) vorgegeben, um die Eingabe für alle Bremsprüfungen zu vereinheitlichen. Das ist natürlich nicht korrekt, wenn die Verzögerung als zeitliche Geschwindigkeitsänderung definiert wird, wie das normal ist. Wird z. B. davon ausgegangen, daß bei einer Talfahrt eine Komponente der Erdbeschleunigung auf das Fahrzeug wirkt,

die eine "Verzögerung" erfordert, damit die Fahrzeuggeschwindigkeit konstant bleibt, erscheint in diesem engen Zusammenhang die Angabe einer Verzögerung a durchaus gerechtfertigt.

- 10 Als Temperaturempfindlichkeit wird in dieser Arbeit der Einfluß der Reibflächentemperatur auf die Reibungszahlen der Bremsenreibpaarung, d.h. der Grad Reibungszahländerung bei Temperaturänderung der Reibflächen des Bremsbelags, bezeichnet.