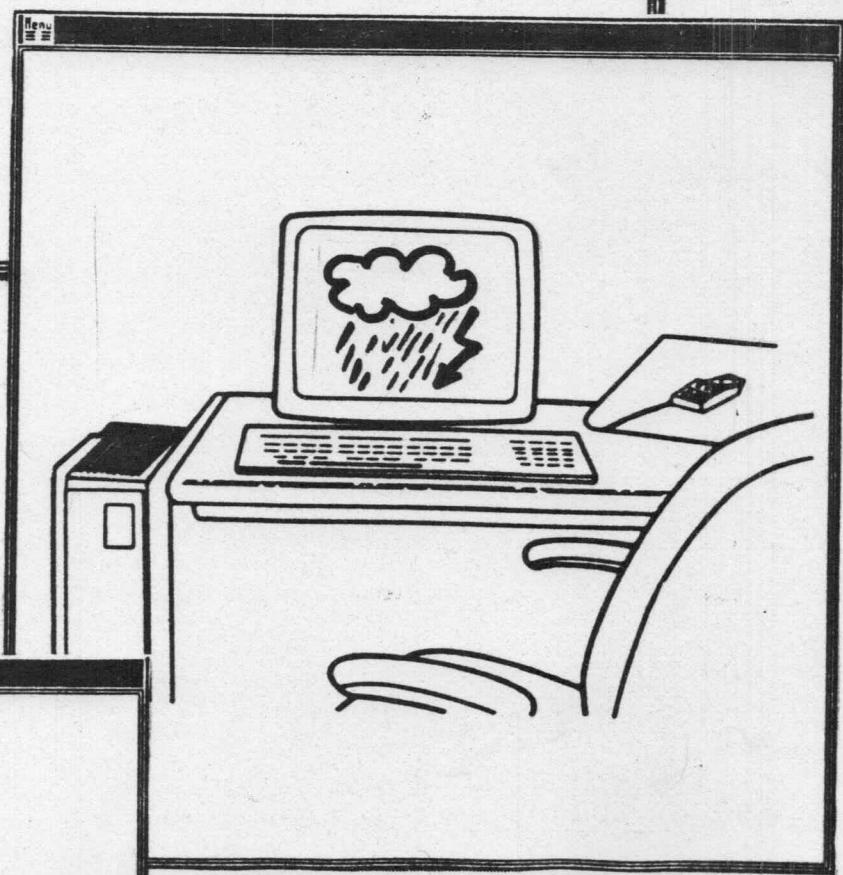


```

v      v      a      x      x
v      v      aa     x      x
v      v      a a    x      x
v      v      a a    x x
v      v      a a    xx
v      v      a a    xx    ****
v      v      aaaaa   x x
v v      a      a    x      x
v v      a      a    x      x
v      a      a x    x
f      f
f      f
f      f
f
f
fffff   r   r   r   o   o   o   o
f   r   r   r   o   o   o   o
f   rr   r   o   o   o   o
f   r   o   o   o   o
f   r   o   o   o   oo
f   r   o   o   o   o
o   o
o   o

```

EIN EXPERTENSYSTEM FUER DIE WETTERVORHERSAGE



Ich danke

Brian Rees fuer sein Vertrauen welches mir das Arbeiten bei  
DEC erst ermoeglichte.

Carlo Ritter fuer Vertrauen, Technische Hilfe, Tips und Ideen.

Chris Dunkel, der mir umfangreiche Literatur zuer Verfuegung  
stellte und zusaetzliche Anregungen gab.

Ruedi Burkhard fuer konstruktive Kritik, Ideen fuer  
Erweiterungen und Verbesserungen, techn. Hilfe.

sowie den vielen anderen die sich fuer mein Wirken interessierten  
und mich unterstuetzten.

**INHALT**

---

1. Was ist VAXfrog
- 2 Bedienung und Funktion
3. Urspruengliche Ziele und Ideen
- 4.1 Ausfuehrung der Ideen
- 4.2 Was ich heute anders machen wuerde
5. Wahl der Sprache, Erfahrungen
6. Zum Sourcecode

**Appendix**

- A: Tafeln zur Wolkenbestimmung
- B: Das Wissen von VAXfrog im Klartext
- C: Quellenverzeichnis
- D: Der Sourcecode

## 1. WAS IST VAXfrog ?

---

VAXfrog ist ein kleines Expertensystem fuer die kurzfristige Wetterprognose. Es ermoeglicht es auch einem Laien der Wetterkunde eine ungefaehre Information ueber das Wettergeschehen in der Zukunft zu erhalten. Es ist als Demoprogramm fuer die Sprache OPS5 geschrieben worden.

### a) TYP

Vaxfrog ist ein sog. "regelbasiertes Expertensystem"(Rule-based expert system). D.h., das ganze Fachwissen ist in Regeln der Form:

IF gewisse bedingungen erfuellt sind THEN veraendere dies und jenes abgelegt. Zudem existieren bestimmte Datenelemente welche die aktuelle Wirklichkeit beschreiben, bzw. den aktuellen Stand der Erkenntnisse. Wenn nun der IF-Teil einer Regel die aktuelle Wirklichkeit zutreffend beschreibt, wird ihr THEN- (action-) Teil ausgefuehrt, was wieder zu neuen Erkenntnissen/Veraenderungen in der Wirklichkeit fuehrt. Nehmen wir als Beispiel eine Aussage aus dem Fachwissen, und schreiben diese dann als Regel.

Fachwissen:

Wenn es Federwolken hat und das Barometer faellt, so kuendigt dies meist das Nahen eines Tiefdruckgebietes mit Altostratuswolken, Regen, steigender Temperatur (Warmfront) und Wind an.

Regelform :

```
RULE Cirrus-wolken
  IF
    Gegenwart: Wolkentyp= Cirrus
                Tendenz-Luftdruck=fallend
  THEN
    Zukunft : Luftdruck=Luftdruck-1 milibar
              Wolkentyp=Altostratus
              Regen=Regen+10
              Temperatur=Temperatur+2 grad
              Windstaerke=Windstaerke+1 bft.
  END
```

Wenn also die Bedingungen im IF-Teil auf die Gegenwart zutreffen, wird die Zukunft nach den Anweisungen im THEN-Teil modifiziert. VAXfrog enthaelt zur Zeit ueber 50 Regeln ueber den Verlauf des Wetters sowie eine gewisse Anzahl zur Ein- und Ausgabe.

### b) EIGENSCHAFTEN

Da solche Expertensysteme aus einer Sammlung autonomer, voneinander unabhaengiger Regeln aufgebaut sind, ist es sehr einfach die bestehende Wissensbasis (Gesamtheit aller Regeln) zu veraendern, oder sie durch das Anfuegen neuer Regeln zu vergroessern.

Da die Regeln nicht stur nacheinander abgearbeitet werden, sondern immer gerade diejenige, die sich am besten eignet, wird das Wissen ein wenig mit Strategie angewendet.

Es ist naemlich moeglich, dass mehrere Regeln gleichzeitig zutreffende IF-Teile haben, und so eine Auswahl getroffen werden muss. (Der Interpreter, welcher die Regeln verarbeitet, enthaelt ein Programm welches die Entscheidung, welche Regel als naechste ausgefuehrt werden soll, nach verschiedenen Kriterien faellt.)

## 2. BEDIENUNG UND FUNKTION

---

Das lauffaehige Programm von VAXfrog befindet sich im File vaxfrog.exe, sie koennen es mit - run vaxfrog - starten. Im File vaxfrog.ops befindet sich der Sourcecode, geschrieben in der Sprache OPS5.

Die Beschreibung fand in vaxfrog.doc Platz, aber das haben Sie ja schon herausgefunden.

Nach dem Starten von Vf sehen Sie das "Titelbild" des Programms. Nachdem Sie -return- gedrueckt haben, wird eine kleine Erklaerung auf dem Bildschirm ausgegeben.

Als zweites muessen Sie die Daten eingeben, die Vf fuer seine Prognose braucht. Damit die Wetterentwicklung sichtbar wird, braucht Vf auch Daten aus der Vergangenheit.

Vaxfrog fragt die Wetterdaten vor 6-12 Stunden , vor 1/2-3 Stunden sowie der Gegenwart ab. Aus diesem Datenmaterial werden durch verschiedenen Schlussfolgerungen zwei Prognosen gemacht.

Die eine fuer das Wetter in 1/2-3 Stunden , die andere fuer die Wetterlage in 6-12 Stunden.

Natuerlich sehen Sie sofort, dass die zeitlichen Abstaende dieselben sind, Sie werden auch bald sehen, warum das so sein muss.

Beantworten Sie nun jede der folgenden Fragen durch Eingabe von drei Werten (ausser Jahreszeit: nur ein Wert weil sie sich meist nicht in 24 Stunden aendert).

Bsp. :

```
ausgabe> geben sie den Luftdruck in Milibar ein :  
eingabe< 1000 - return -  
          (Luftdruck vor 6-12 h )  
eingabe< 1003 - return -  
          (Luftdruck vor 1/2-3 h )  
eingabe< 1004 - return -  
          (Luftdruck jetzt,Gegenwart)  
ausgabe> geben sie .....  
          (naechstes Wetterelement)
```

Wenn sie auf eine Frage keine Antwort wissen, koennen Sie auch ein Fragezeichen eingeben.

Wenn Sie zwar eine Antwort wissen, aber nicht ganz sicher sind, dann geben Sie ein doppeltes Fragezeichen ein. Sie bekommen dann spaeter die Moeglichkeit Ihre Antwort einzugeben und sie mit einer Angabe ueber ihre Sicherheit zu versehen.

Jede Eingabe wird auf Richtigkeit ueberprueft.  
Es erscheint eine Fehlermeldung immer dann, wenn Sie einen Buchstaben statt einer Zahl (u. umg.) oder einen unsinnig grossen oder kleinen Wert eingegeben haben. Sie muessen den oder die Werte dann nochmals eingeben.

Nun werden Sie gefragt ob ihre Eingaben sicher seien.  
Hier ist es nun genau wie beim doppelten Fragezeichen, nur dass Sie alle Eingaben eines Zeitpunktes auf einmal mit einer Angabe ueber die Sicherheit versehen koennen.  
Dies kann sein, wenn Sie geschaetzt haben, ein ungenaues Instrument besitzen, oder wenn Sie glauben, dass das zwar schon richtig ist im Augenblick, aber doch nur eine kurzfristige Phase ist.

Wenn Sie N eingeben, bekommen Sie die Moeglichkeit, Ihre Angabe mit einer Zahl fuer "Sicherheit" oder "Bestimmtheit zu relativieren.

Dabei bedeutet dann : 0= ich bin absolut unsicher  
(in %) 50= ich bin nicht ganz sicher  
100= wette auf meine Grossmutter, dass es stimmt

Die Abfrage nach der Sicherheit der Angaben wird solange wiederholt, bis sie 'J' eingeben.

Nun beginnt VAXfrog mit dem prognostizieren.  
Sie koennen auf dem Bildschirm mitverfolgen, welche Schlussfolgerungen in welcher Reihenfolge gezogen werden.  
Die Meldungen waehrend des Denkprozesses bestehen aus einer Zeile, in der die Nummer der jeweiligen Regel und ein ganz kurzer Text ueber die Art der Schlussfolgerung stehen.

Wenn der Denkprozess beendet ist, werden Sie ueber ihre Wuensche fuer die Ausgabe/Darstellung der Ergebnisses befragt.  
Sie haben dabei zwei Moeglichkeiten:

- (B)eurteilung:Ausgabe in sprachlicher Form.  
Nur diejenigen Ergebnisse werden ausgegeben,  
die auch hinreichend sicher eintreffen.  
Weniger wahrscheinliche Vermutungen werden Ihnen erspart.
- (E)rgebnis,tabellarisch:  
Alle Ergebnisse werden in Zahlenform  
ausgegeben, plus eine Angabe ueber ihre durchschnittliche Wahrscheinlichkeit des Eintreffens.

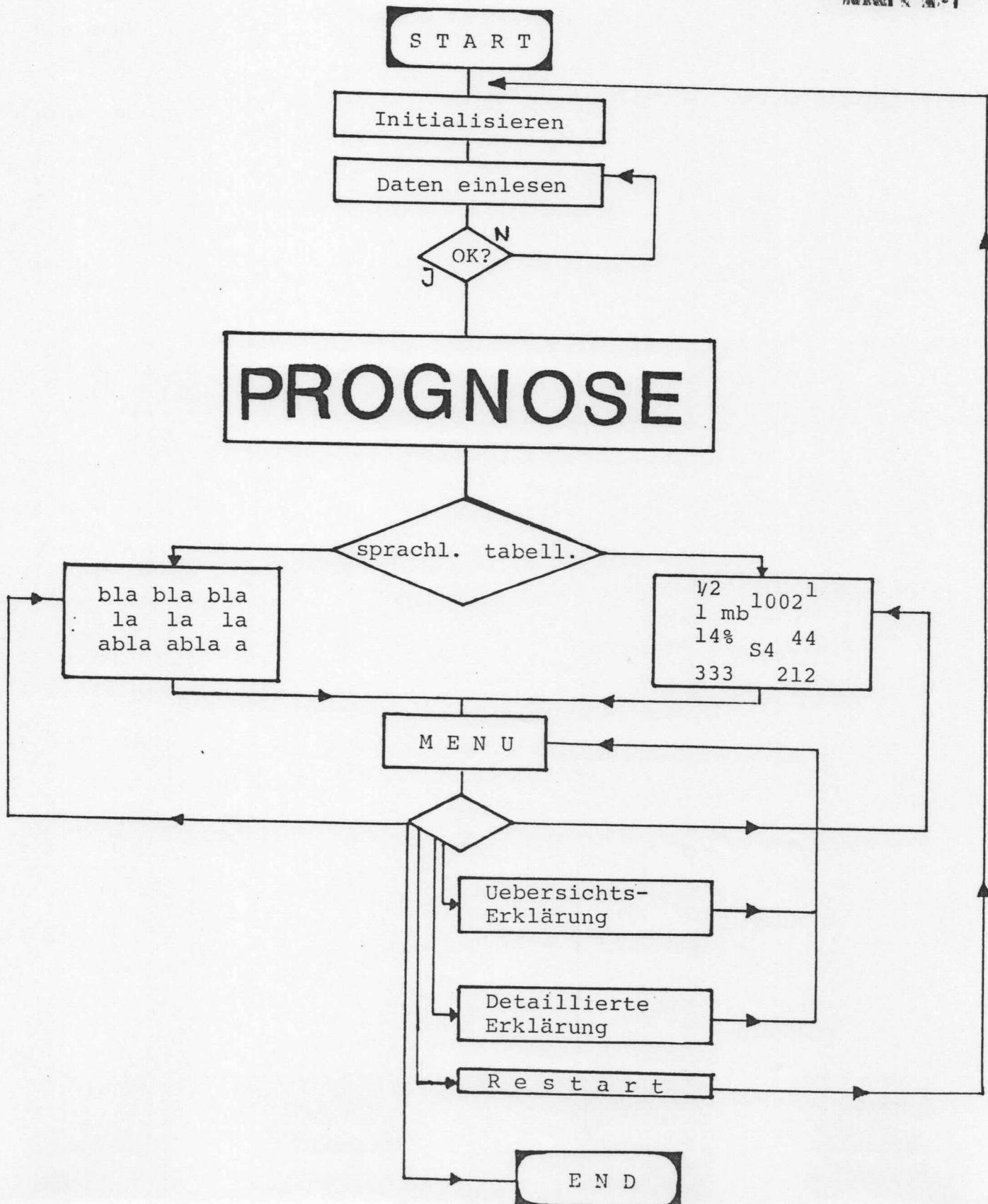
Nach der Ausgabe der Ergebnisse kommen Sie in ein Menue bei dem Sie die Auswahl haben zwischen:

- (R)estart: Restart,neue Daten eingeben.
- (Q)uit: Programm anhalten zurueck zum Interpreter
- (E)rgebnis: nochmals Prognose in tabellarischer Form anschauen.
- (B)eurteilung:nochmals Prognose in sprachlicher Form anschauen.
- (U)ebersichtliche Erklaerung: Kurze Zusammenfassung aller Schlussfolgerungen.
- (S)pezielle Erklaerung: Erklaerung fuer bestimmtes Wetterattribut in bestimmter Zeit.  
Einfach 'S' eingeben,weitere Eingaben werden erfragt.

Zu diesem Menue kommen sie immer wieder zurueck, bis sie 'Q' druecken.

# VAX frog

A B L A U F



### 3. URSPRUNGLICHE ZIELE UND IDEE

---

Ziel war, ein kleineres Programm zur Demonstration der Sprache OPS5 zu schreiben. Die Wahl fiel auf die Wettervorhersage, weil dies ein allgemein bekanntes Problem ist, das jeden interessiert, aber doch reichlich Stoff fuer ein Expertensystem liefert.

Bei der Planung und Codierung von Vaxfrog wurden folgende Punkte als grundlegende Anforderungen an ein solches Programm aufgestellt:

a) Einfachheit

Das Programm sollte von jedem Laien zu bedienen sein. Erfordert es einen Meteorologen zur Bedienung, so hat das ganze wenig Sinn.

b) Fehlerbehandlung

Es sollte unmöglich sein das Programm durch eine falsche Eingabe zum Absturz zu bringen. Nach einer Fehlermeldung muss immer eine erneute Abfrage der Daten folgen. Unsinnige Eingaben sollen abgefangen werden (weil erfahrungsgemäß nacher trotzdem über die unsinnige Prognose gelacht wird).

c) Help

Das Programm sollte durch Help-texte und klare Fragestellungen auch ohne Beschreibung zu bedienen sein.

d) Befehle

Der User sollte in jedem Stadium des Programms möglichst viele Möglichkeiten zur Handlung haben. Der Ablauf von Ausgabe und Erklärung soll nicht streng vorgegeben sein (Menusteuierung).

e) Ausgabe

Der User sollte die Wahl zwischen Ausgabe in exakten Zahlen und einer Beurteilung in deutschen Sätzen haben.

f) Performance

Das Programm sollte keine längeren Gedankenzeiten benötigen, oder gar zeitweise in stille Meditation verfallen.

g) Erklärungskomponente

Der User soll möglichst präzise Begründungen für Teile der Expertise des Computers verlangen können. Gleichzeitig soll auch eine übersichtliche Erklärung möglich sein.

h) Fachliche Qualitäten

Die Prognosen sollten den Gedankengängen nach in etwa richtig sein. Das Programm muss nicht präzise Wettervorhersagen machen können, sondern mehr eine Idee des Meteorologischen Denkens vermitteln.

i) Struktur und Strategie

Die Ausführung des Programms soll den Eigenschaften der Implementationssprache OPS5 gerecht werden.

k) Erweiterbarkeit und Modifizierbarkeit

Es sollte einfach sein, die Wissensbasis zu verändern oder zu erweitern. Erweiterungen sollten die bestehenden Regeln in ihrer Wirkungsweise nicht beeinflussen.

#### 4.1 AUSFUEHRUNG DER IDEEN

---

a) Das Programm ist so konzipiert, dass ein Benutzer keinerlei Kenntnisse der Meteorologie benötigt. Er sollte lediglich imstande sein, einen Barometer, Thermometer usw. abzulesen.  
Die Abfolge der einzelnen Programmteile entspricht der Natur der Sache:

1. Daten einlesen und überprüfen
2. evtl. Sicherheit abfragen (zugegebenermaßen oft nicht einfach)
3. Erstellen der Prognose
4. Ausgabe der Ergebnisse
5. evtl. Erklärung oder erneute Ausgabe der Ergebnisse
6. Zurück zu 1.

Bei allen Fragen der Dateneingabe sind die möglichen Eingaben beschrieben:

1. Zulässiger Bereich (zb. 950-1050mb)
2. Einheit (Milibar, %, Beaufort, Grad)
3. evtl. alle möglichen Eingaben (zb. cb, cn, cs, ci, cu, ac, as, st....)

b) Absturz ist unmöglich, alle Eingaben werden überprüft, unsinnige Antworten abgefangen, der Fehlbare gescholten, dann wird neu abgefragt.  
Allerdings wird oft die Art des Fehlers nicht bestimmt.  
Bei der Dateneingabe wird erst auf Fehler geprüft, nachdem alle drei Werte eingegeben sind. Dies ist deshalb so, weil man auch alle drei Werte auf einmal (durch Space getrennt) eingeben kann.  
Die meisten Abfrageregelgruppen bestehen aus mindestens drei Regeln:

```
RULE frage
  IF
    frage notwendig
    (weil es an der Zeit ist, oder weil Daten fehlen)
  THEN
    drucke fragetext
    lies antwort ein
  END

  RULE antwort-richtig
    IF
      es gibt eine richtige Antwort
    THEN
      handle gemaess Antwort
    END

    ;diese können in beliebiger
    ;Anzahl vorhanden sein.
    ;Evtl. für jede richtige
    ;Antwort eine Regel

  RULE antwort-falsch
    IF
      es gibt keine richtige Antwort
    THEN
      drucke fehlermeldung
      entferne falsche Antwort
      lies neue Antworten ein
    END
```

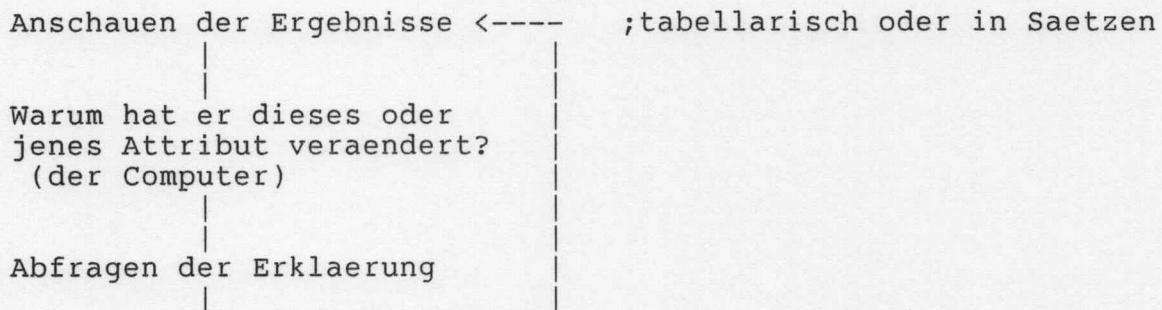
c) An vielen Stellen im Programm, an denen eine Entscheidung oder Auswahl getroffen werden muss, kann ein kleiner HELP-text abgerufen werden. Dieser beschreibt die Möglichkeiten, welche direkt möglich sind. Ein HELP hilft also nur gerade bis zur nächsten Entscheidung weiter, kein großes allgemeines Help.  
Im letzten Menu (Quit, Restart, Ergebn., Beurt., Uebers., Spez.) ist zusätzliche Information mit HELP/Topic abrufbar, wobei nach dem

Schraegstrich der Anfangsbuchstabe des Menupunktes eingegeben werden muss.

Bei der Dateneingabe ist Help nicht moeglich. Nur wenn bei 'WOLKENTYP' drei Fragezeichen eingegeben wurden, erscheint ein Hilfstext zur Bestimmung der Wolkenart.

- d) Der Ablauf des Programmes laeuft waerend der ganzen Datenabfrage, Prognose und ersten Ausgabe streng geregelt. Der User muss also zuerst das Ergebnis einmal angeschaut haben, bevor er Fragen dazu stellen kann.

Danach folgt ein Menu, welches die Wahl zwischen Abbruch oder Neustart des Programmes sowie erneuter Ausgabe der Ergebnisse und Erklaerungen erlaubt. Zu diesem Menu wird bis zum Abbruch oder Neustart immer wieder zurueckgekehrt. Das Betrachten von Ergebnissen und Erklaerungen erfolgt, bis alle Neugierde befriedigt ist, in folgender Abfolge:



- e) Die tabellarische Ausgabeform zeigt zunaechst die beiden Prognosen auf dem Bildschirm an und dann auf Wunsch noch einmal die Werte der Gegenwart.

Alle wichtigen Werte werden angezeigt, plus eine Angabe ueber die erreichte Sicherheit der Prognose. Es wird auch die Anzahl der Regeln, welche feuerten ausgegeben.

Die Zahl der erreichten Sicherheit betraegt von Anfang an 40 (bzw. 30)%, und wird durch jede Regel ein wenig erhoeht. Dies ist deshalb so, weil VAXfrog vorerst annimmt, das Wetter bleibe gleich und nur auf Anzeichen fuer Veraenderungen reagiert.

So besteht also eine gewisse Wahrscheinlichkeit dafuer, dass sich das Wetter in naechster Zeit nicht aendert.

(Wenn Sie immer behaupten, das Wetter sei Morgen gleich wie Heute, dann sind Sie schon ein Wetterfrosch mit ca. 30% Trefferquote)

Die sprachliche Ausgabeform versucht die wesentlichen Ergebnisse allgemein verstaendlich auszugeben. Es gibt eine Anzahl von Texten, mit Luecken fuer die einzusetzenden Werte. Gibt es nun eine Wetterveraenderung, und ist es genuegend gesichert das sie eintrifft, so werden die Luecken mit den entsprechenden Werten gefuellt und der Text ausgegeben. Es gibt nur Texte zur Ausgabe von Wetterelementen, die den Benutzer direkt interessieren. Der Luftdruck zB. wird nicht ausgegeben, auch wenn feststeht das er sinkt, da der Luftdruck ja nur ein Mittel zur weiteren Prognose ist.

- f) Ergibt sich aus der Geschwindigkeit von OPS5 von selbst.

Man muss allerdings beachten, dass LHS's mit vielen CD's welche alle mehrere, zT. die gleichen WM-Elemente matchen, die Geschwindigkeit enorm bremsen koennen (man glaubt der Rechner sei abgestuerzt).

- g) Das Programm kennt zwei Arten von Erklaerungen:

1. Eine Uebersicht, in der zu jeder Regel, welche angewendet wurde, ein kurzer Text ausgegeben wird.
2. Detaillierte Erklaerung einzelner Teile der Prognose. Der User kann zB. eine Erklaerung fuer den Luftdruck in 1/2-3h verlangen.

Fuer jede Regeln sind eine Anzahl von Erklaerungstexten vorhanden. Neben der kurzen Meldung, die waehrend dem Prognosevorgang ausgegeben wird, ist eine allgemeine Erklaerung vorhanden. Sie fasst die Aussagen der Regel kurz zusammen. Diese Texte werden gemeinsam ausserhalb der Regeln gespeichert. Daneben ist fuer jedes Wetterelement, fuer welches die Regel eine Prognose macht, ein Text, welcher von der Regel produziert wird. Dieser kann in mehrfacher Ausfuehrung vorhanden sein, wenn die Regel mehrmals auf verschiedene Zeitpunkte eine Aussage machte.

- h) Die Wissensbasis von VAXfrog enthaelt zur Zeit 52 Regeln ueber Wetterablaeufe. Ich habe versucht, sowohl sehr allgemeine Faustregeln, als auch sehr genaue, sichere Gesetze der Meteorologie aufzunehmen. Dies ist moeglich, ohne dass allgemeine Regeln das Wirken der genaueren stoeren.
- Jede Prognoseregel hat etwa folgenden Aufbau :

```
RULE irgendeine-prognose
IF
  gewisse voraussetzungen fuer diese
  wetterveraendrung gegeben sind
    und
  diese voraussetzungen genuegend
  gesichert sind(bzw. feststehen)
    und
  die zu machende prognose nicht
  schon mit genuegender sicherheit
  von einer anderen regel gemacht worden ist
THEN
  mache die prognose (bzw. veraendere zukunft
  in entsprechender Weise)
END
```

So kann es folgende zwei Grundtypen von Regeln geben, sowie alle Zwischenstufen:

1. STARKE Regel: Voraussetzungen muessen nicht sehr gesichert sein, um eindeutige Prognose zu erlauben.  
Kann auch auf Wetterelemente prognostizieren die schon eine hohe Bestimmtheit haben.
2. SCHWACHE Regel: Voraussetzungen muessen absolut sicher sein um Prognose wagen zu koennen.  
Kann nicht auf Wetterelemente prognostizieren die schon ein wenig bestimmt sind.

So kann ein Meteorologisches Gesetz beliebig die Aussage einer Faustregel ueber den Haufen werfen, nicht aber umgekehrt. Es ist auch nicht moeglich, das VAXfrog einen Tornado prophezeiht, wenn der User gar nicht sicher war, ob die Beaufort-Skala nun von 0-12 oder von 10 bis 20 geht.

Es gibt Regeln, die eine Prognose auf die Zeit 1/2-3 Stunden nach den Voraussetzungen machen, sowie solche auf 6-12 St. n. den Voraussetzungen. Einige machen keine Prognose, sondern komplettieren (zb.: wenn es regnet, ist der Luftdruck meist nicht hoch.), wieder andere schaffen den Wunsch nach mehr Daten und stellen Fragen.

Mangels meteorologischen Kenntnissen kann ich die Guete der Prognosen nicht sehr gut beurteilen. Vor allem was die zeitlichen Verhaeltnisse anbetrifft, war ich sehr oft unsicher.

- i) Das Expertensystem besteht aus folgenden Komponenten:

1. Production-memory

Knowledge-base, enthaelt das Fachwissen (Wettervorhersage). All jenes Wissen das man haben muss um eine Wettervorhersage machen zu koennen in Form von Regeln.(Eigentliches Programm)

## 2.Working-memory

Enthaelt die eingegebenen Daten mit denen eine Prognose gemacht werden soll. Auch die sich staendig veraendernde und wachsende Prognose findet darin Platz.  
(Bei jeder Konsultation anders)

## 3.Interpreter

Inference-engine, schaut zuerst welche Regeln des Production-memory auf das working-memory angewendet werden KOENNEN  
(match. Alle R., die zutreffende TF-Teile haben)  
und entscheidet dann welche regel am besten angewendet WIRD  
(select, conflict resolution).

Nach der Entscheidung wird durch Ausfuehren des THEN-Teils der Regel das Working-memory veraendert (execute)

Das Production-memory enthaelt bei VAXfrog neben den 50 Regeln fuer die die Wettervorhersage noch viele Regeln fuer den Ablauf der Ein/Ausgabe, das Initialisieren des Working-m., die Fehlerbehandlung und die Erklaerungskomponente.

Das Working-memory enthaelt die eingegebenen Wetterdaten, sowie die aktuellen Prognosen.

Auch saemtliche benoetigten Erklaerungstexte sind in ihm enthalten. Verschiedene veraenderliche Kontrollinformationen ueber die Abfolge von Regeln oder Regelgruppen, Kontrolle der Prognoseregeln.

Der Interpreter verarbeitet das vom zugehoerigen Compiler gelieferte Programm. Es wird die MEA Strategie verwendet.

Das Programm arbeitet ueberwiegend vorwaertsverkettend.

- k) Vaxfrog ist beliebig erweiterbar. Das System arbeitet mit jeder beliebigen Anzahl von Regeln. Neben der neuen Regel muessen noch ein Kontrollelement und ein Erklaerungstext an anderer Stelle eingefuegt werden. Es ist auch relativ einfach, zusätzliche Daten abzufragen. Auch Regeln zur sprachlichen Ausgabe koennen beliebig viele angehaengt werden.

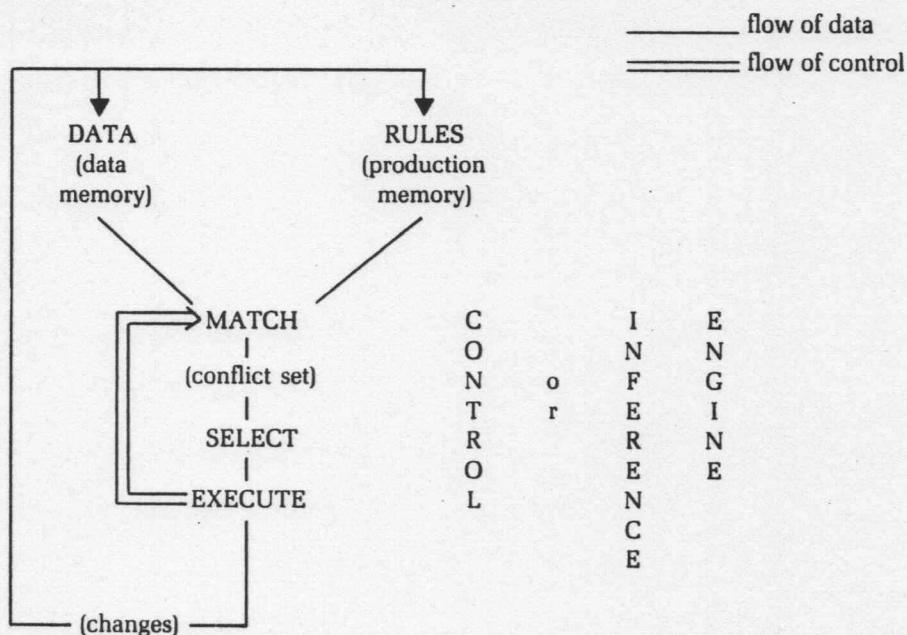
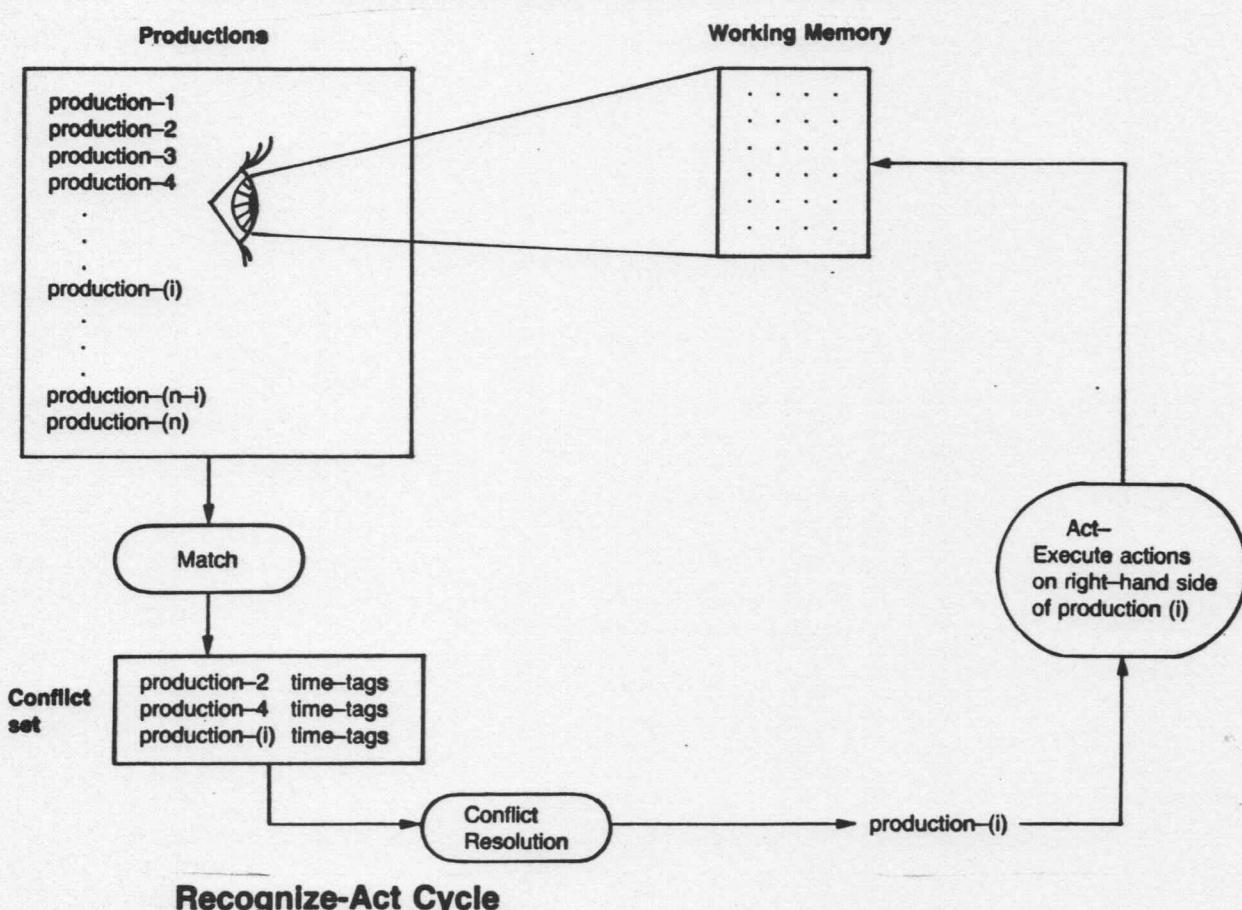


FIGURE 1.2 Architecture of a Production-System Model



The recognize-act cycle consists of four steps:

1. Find matches
2. Select a match
3. Act
4. Go to Step 1

During the match step, the system compares working-memory elements with the condition elements on the left-hand side of each production. When working-memory elements match all the condition elements, the production is ready for execution. The system selects one of the ready productions, executes the actions on its right-hand side, and begins the cycle again.

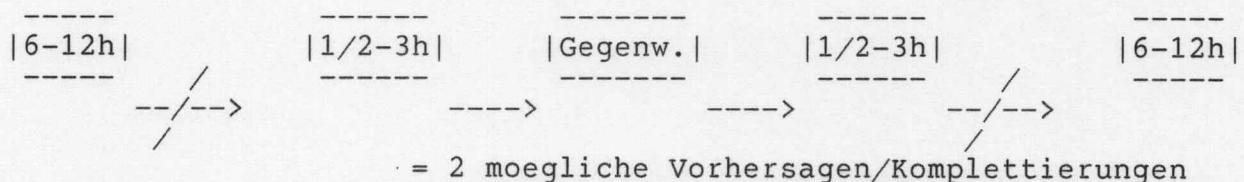
## 4.2 WAS ICH HEUTE ANDERS MACHEN WUERDE

---

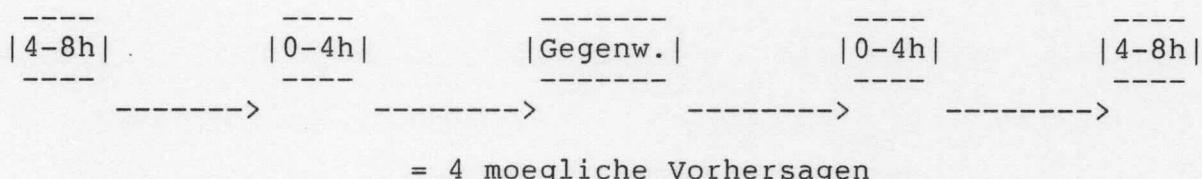
Bei der Eingabe und dem Testen der Wissensbasis sind mir einige Schwaechen von VAXfrog bewusst geworden. Sie betreffen sowohl VAXfrog als auch die Art in der ich bei der Konstruktion vorgegangen bin.

- a) Die Abstaende der Verschiedenen Zeitpunkte sind ungleich.  
Die erste Prognose in ca. 3 Stunden, die zweite in ca. 9 Stunden statt in 6.  
Es ist zwar sinnvoller eine ziemlich kurzfristige Prognose und eine langfristige Prognose zu haben, eine symetrische Aufteilung haette aber den Wirkungsbereich einer Regel stark erweitert.

Meine Variante: (eine Regel, die auf 1/2-3h vorhersagt)



2. Variante: (eine Regel, die auf ca. 4h vorhersagt)



Diese 2. Variante bringt aber wie erwaehnt auch Nachteile (mehr meteorologischer als technischer Art) und ist relativ einfach zu realisieren.

b) Vorgehen bei Planung und Codierung

Es entsteht immer wieder das gleiche Dilemma:

Einerseits moechte man nicht das Programm schreiben bevor man sich alles genau ueberlegt hat, sondern lieber zuerst alles genau planen und dann sorgfaeltig Codieren.

Andererseits muss man doch gewisse Programmteile schreiben um sich ueberzeugen zu koennen ob das Prinzip stimmt, da bei dieser Art der Programmierung auch alles ganz anders kommen kann.

Wenn man viel Zeit hat, sollte man zuerst eine kleine experimentelle Version des Programmes schreiben (das TOY), dieses austesten und analysieren und dann erst das 'richtige' Programm schreiben, OHNE Teile aus dem Toy uebernehmen zu muessen.

Ich habe das Toy langsam zum endgueltigen Programm ausgebaut, weil ich keine Zeit hatte\* die darin enthaltenen Prognoseregeln alle neu zu schreiben. Dieser Ausbau hatte aber den Nachteil, dass zB. die Ein/Ausgabe und die Kontrolle der Eingaben kein einheitliches Konzept haben. Im Toy gab es nur eine sehr einfache Dateneinleserule, ohne Fehlererkennung. Mussten Fragen waehrend der Prognose gestellt werden, erledigte das die Prognoserule selber. Dito Ausgabe. Da ich zuerst die Wissensbasis uebernommen habe, blieb dieses Konzept

zT. bestehen, obwohl ich heute lieber einige ganz allgemeine Regeln zur Ein/Ausgabe und Fehlererkennung/Korrektur haette, die vom ganzen System benutzt werden.

c) Man tut gut daran sich beim Schreiben der Regeln gut zu konzentrieren. Hier ist der Unterschied zum herkömmlichen Programmieren besonders bemerkbar. Wenn man mit "gewoehnlichen" Sprachen programmiert, bleiben Fehler meist nicht lange unentdeckt, weil bei jedem Programmdurchlauf grosse Teile des Codes abgearbeitet werden.

Bei mir ist es vorgekommen, dass ich Fehler erst eine Woche nach dem 'Geburtstag' der betreffenden Regel gefunden habe.

Ich glaube es ist keine schlechte Idee jede Regel zuerst mit einigen Testregeln, die man dann extra fuer diesen Zweck schreibt, gruendlich auszutesten.

\*) und auch keine Lust hatte

## 5. WAHL DER SPRACHE OPS5, ERFAHRUNGEN

---

Diese Frage hat sich eigentlich gar nie gestellt, weil VAXfrog von Anfang an als Demoprogramm fuer die Sprache OPS5 geplant war. Es war also nicht so, dass fuer ein gegebenes Problem eine geeignete Sprache gesucht wurde. Im Gegenteil es wurde fuer eine gegebene Sprache ein geeignetes Problem gesucht. OPS5 hat sich als sehr schnell und sicher erwiesen. Es ist sehr angenehm dass der Compiler nicht schon beim ersten Fehler abbricht, sondern gleich alle Fehler sucht. Es sind aber auch einige Schwaechen zutagegetreten.

Compiler:Fehlermeldungen zT. ungenau, Folgefehler werden fuer richtige Fehler gehalten(Mein Rekord: 1 richtig gefundener Error führte zu 639 falschen Warnings).

Sprache OPS5: Da keine Vergleiche ( $<$ ,  $>$ ,  $>=$ ,  $<=$ ,  $=$ ) und Variablen in der Disjunktion erlaubt sind, fuehrt dies zu unuebersichtlichen Hilfskonstruktionen.  
Nur  $\leftrightarrow$  (gleicher Typ) vorhanden, Gegenteil fehlt.  
Keine Vergleichsoperatoren vor Funktionen in LHS  
(funktioniert manchmal, aber eben nicht immer).  
Bescheidene Arithmetik.

Im allgemeinen hat mir VAXops5 aber gut gefallen, man kann damit sehr schnell und effektiv arbeiten.

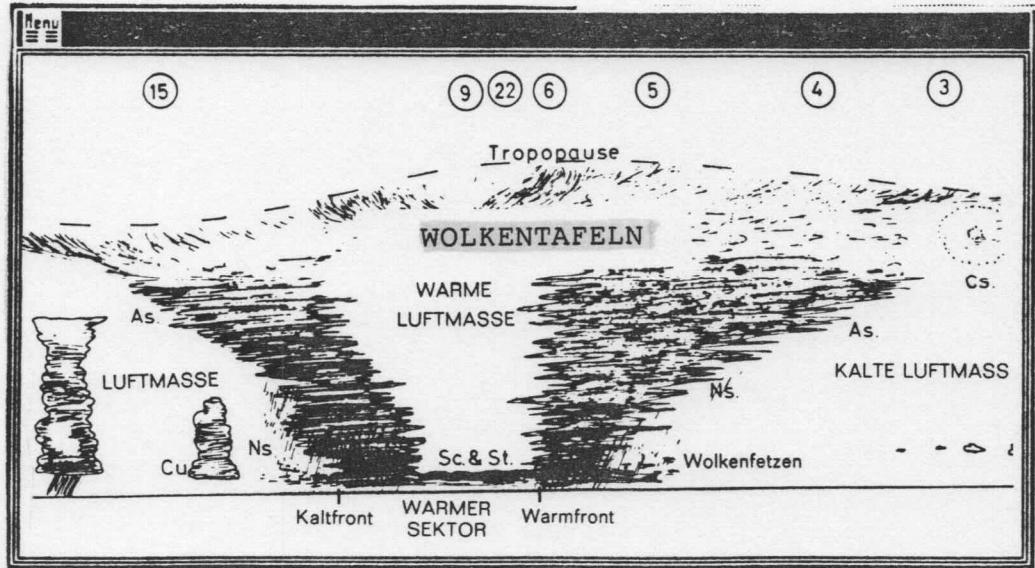
## 6.ZUM SOURCECODE

---

Der Sourcecode zu VAXfrog ist im Anhang enthalten.  
Er ist dokumentiert und in einzelnen Gruppen zusammengefasst,  
deren Abfolge im Code in etwa der Abfolge bei der Programm-  
ausfuehrung entspricht.

Der Sourcecode ist folgendermassen gegliedert:

1. Deklarationen
2. Startup
3. Initialisieren
  - Fragen nach Wetterelementen
  - Prognose-rule Kontrollelemente
  - Uebersichtliche Fragetexte
4. Titelbild drucken
5. Daten einlesen/kontrollieren
6. Zeit-wm's initialisieren, next-group Kontrollelemente  
initialisieren
7. Bestimmtheit abfragen
8. Tendenzen berechnen
9. Fragezeichen in der Eingabe durch Wert aus  
vorhergehender Zeit ersetzen
10. Fragezeichen in der Eingabe durch wahrscheinlichsten  
default-wert ersetzen
11. Denkprozess Anzeige-rule
12. Prognose-rules
13. Regeln zur Ausgabe in Saetzen
14. Wahl der Ausgabeform und Ausgabe tabellarisch
15. Menu fuer Ausgabe, Erklaerung, Quit und Restart
16. Erklaerungskomponente
17. Help-texte



## WOLKENTAFELN, EINHEITEN

---

Einige Bemerkungen zum Eingeben der Daten:

Je mehr Fragen sie bei der Eingabe beantworten koennen, desto besser wird die Prognose.

Es ist moeglich bei den Fragen nach der Gegenwart nur Fragezeichen einzugeben, und die Daten der Gegenwart bei den Fragen nach den Daten vor 1/2-3h einzugeben.VAXfrog macht dann eine Prognose auch auf diese Zeit.

a) Wolkentyp

Ich habe einige Wolkenfotos und Zeichnungen aus Buechern fotokopiert.

Ich hoffe dass sie trotz ihrer teilweise sehr bedenklichen Qualitaet beim Bestimmen des Wolkentypes ein wenig helfen.

Es ist wichtig, dass Sie sich muehe beim Bestimmen geben, da die Wolkenart sehr aufschlussreich ist, was bei falscher Bestimmung eben zu falschen Schluessen fuehrt.

b) Wolkendichte

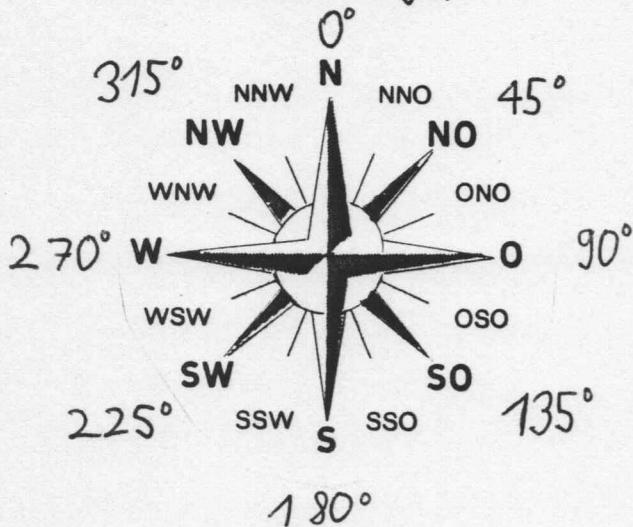
Die Skala reicht von 1-6 und steht fuer Bedeckung.So wird zB. ein Himmel der zu sieben Achteln bedeckt ist mit 5 beziffert.

Nun gibt es aber Wolkentypen die den Himmel meist ganz bedecken (Stratus-Typen) und solche die meist nur einen Teil bedecken (Cirren,Cumulus).

Um nun aber trotzdem diese Wolken beurteilen zu koennen, ist bei der Eingabe der Wolkendichte auch die Dichte bzw. Groesse zu beruecksichtigen.Sie koennen also Stratuswolken auch mit weniger als 5 beziffern wenn sie gut durchscheinen und Cirren mit hohen Zahlen angeben, wenn zwar noch viel Blau zu sehen ist, sie aber in groesserer Zahl und ausgepraegter Form auftreten.Oder sie koennen Cumulus congestus mit 5 angeben, auch wenn der Himmel nicht so stark bedeckt ist.

# Einheiten

## Windrichtung:



## Windstärke:

### Beaufortskala und Windgeschwindigkeit

Beaufort-grad	Bezeichnung	Auswirkungen des Windes im Binnenlande
0	still	Windstille, Rauch steigt gerade empor.
1	leiser Zug	Windrichtung angezeigt nur durch Zug des Rauches, aber nicht durch Windfahne.
2	leichte Brise	Wind am Gesicht fühlbar, Blätter säuseln, Windfahne bewegt sich.
3	schwache Brise	Blätter und dünne Zweige bewegen sich, Wind streckt einen Wimpel.
4	mäßige Brise	Hebt Staub und loses Papier, bewegt Zweige und dünnere Äste.
5	frische Brise	Kleine Laubbäume beginnen zu schwanken, Schaumköpfe bilden sich auf Seen.
6	starker Wind	Starke Äste in Bewegung, Pfeifen in Telegraphen-Leitungen, Regenschirme schwierig zu benutzen.
7	steifer Wind	Ganze Bäume in Bewegung, fühlbare Hemmung beim Gehen gegen den Wind.
8	stürmischer Wind	Brech Zweige von den Bäumen, erschwert erheblich das Gehen im Freien.
9	Sturm	Kleinere Schäden an Häusern (Rauchhauben und Dachziegel werden abgeworfen).
10	schwerer Sturm	Entwurzelt Bäume, bedeutende Schäden an Häusern.
11	orkanartiger Sturm	Verbreite Sturmschäden (sehr selten im Binnenlande).
12	Orkan	Schwerste Verwüstungen.

## Luftdruck:

in mb.

## Umrechnungen:

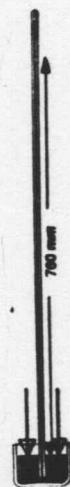
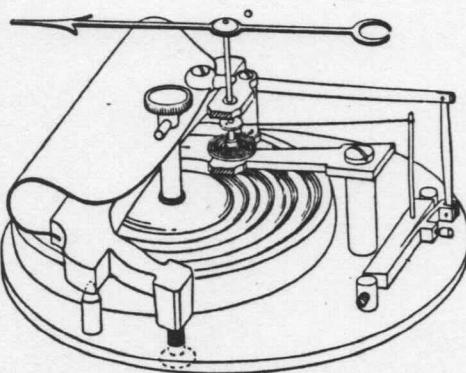
Die Weltorganisation für Meteorologie hat 1981 beschlossen, ab 1984 den Luftdruck statt in Millibar in Hektopascal (hPa) anzugeben.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2 = 1 \text{ kg/ms}^2$$

$$1 \text{ mb} = 100 \text{ Pa} = 1 \text{ hPa}$$

$$750 \text{ mm} = 1000 \text{ mb} (\text{g pro cm}^2)$$

oder:  $1 \text{ mm} = 4/3 \text{ mb}$   
 $1 \text{ mb} = 3/4 \text{ mm}$

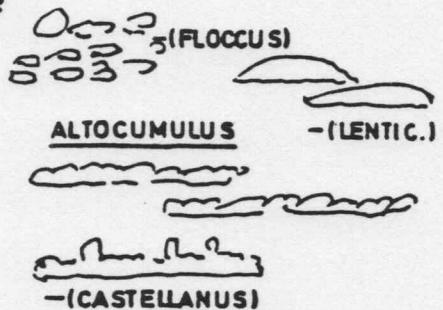
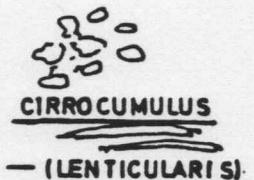
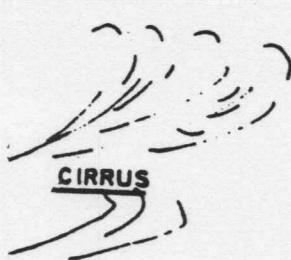


## Wolkendichte:

### Bedeckung:

- |     |   |                               |
|-----|---|-------------------------------|
| 1 = | ○ | wochenlos                     |
| 2 = | ◐ | heiter, bedeckt               |
| 3 = | ◑ | halb bedeckt                  |
| 4 = | ● | wolkig, bedeckt               |
| 5 = | ◐ | einzelne Wolkrlücken, bedeckt |
| 6 = | ● | ganz bedeckt                  |

Cirrus fibratus uncinus	einzelne Eiswolken, faserig oder gefiedert, hakenförmig
Cirrocumulus	hohe, lichte, durchsichtige Schälchenwolken aus Eis
Cirrostratus	mehr oder weniger dichte Eisschleierwolke, zumeist den ganzen Himmel bedek- kend - Kennzeichen: Halo
Altocumulus flocus	kaum noch durchschei- nende einzelne Wolken flockig
lenticularis	linsenförmig, immer an Leeseiten von Gebirgen
castellanus	zinnenförmig
Altostratus	graue, je nach Wasser- gehalt mehr oder weniger durchscheinende Schicht- wolke
translucidus	Sonne scheint durch
perfucidus	Sonne scheint durch Lücken - Kennzeichen: Hof
Nimbostratus	dichte, dunkle nicht durchscheinende Schicht- wolke mit großem Wassergehalt
Stratocumulus	flache, graue, unterteilt Schichtwolke mit geringer haufenförmiger Struktur an der Oberseite
Stratus nebulosus fractus	flache, graue Schicht ge- ringer Höhenausdehnung hochnebel förmig unterbrochen
Cumulus humilis mediocris congestus	Quellwolke, Haufenwolke niedrig mittelhoch angesammelt, groß
Cumulo- nimbus calvus capillatus	Gewitter-, Böenwolke, reicht durch alle Stockwerke (oben) glatt, noch keine Cirren Cirrenschirm (Amboß) an der Tropopause, Böenwalze an Vorderseite



ALTOSTRATUS



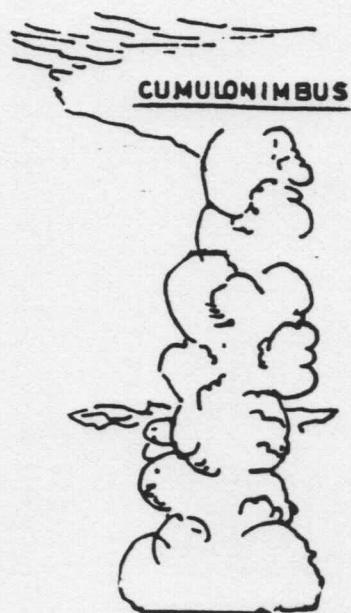
STRATOCUMULUS

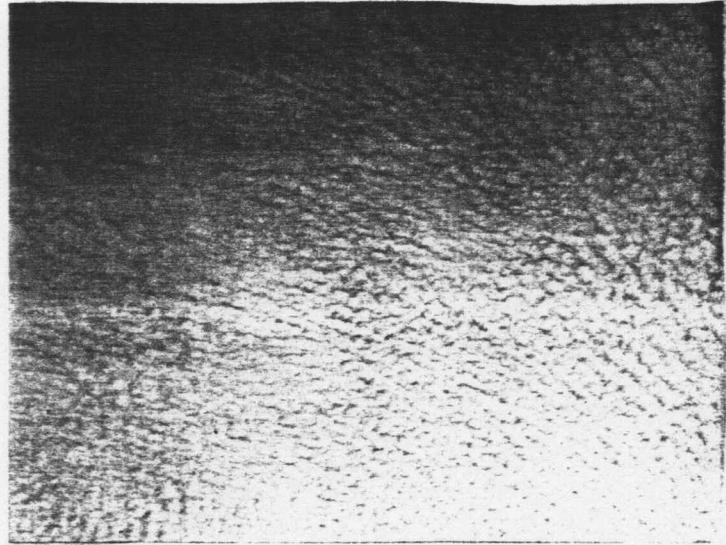


CUMULUS HUMILIS

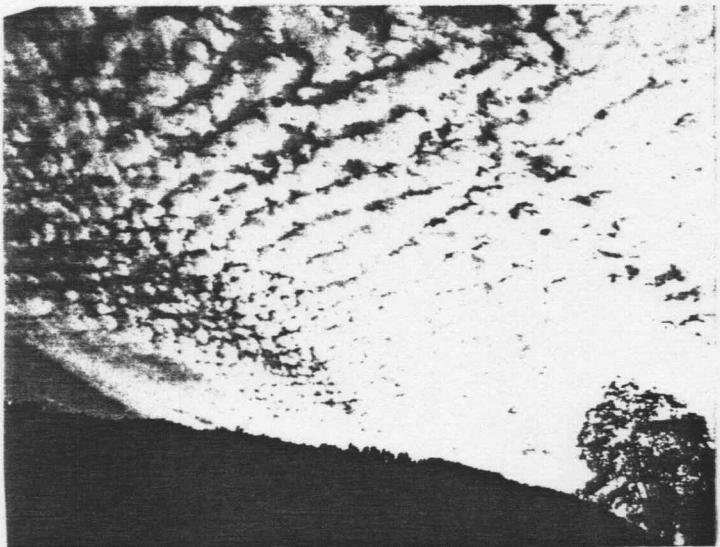


CUMULUS  
CONGESTUS

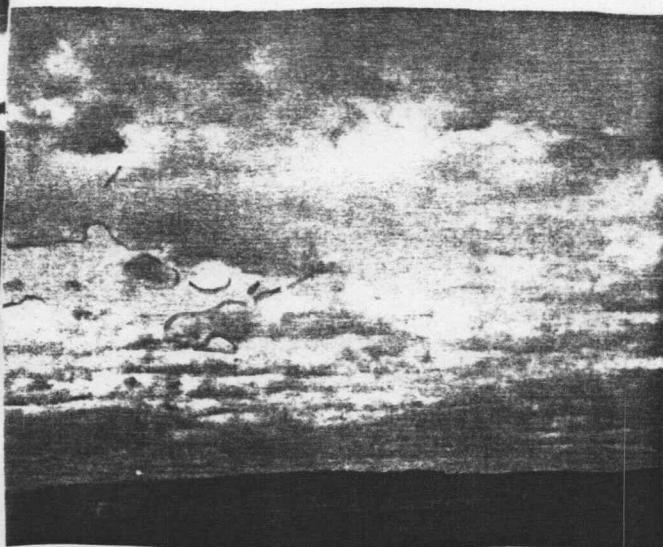




CIRROCUMULUS: hohe Schaefchenwolken. Kleine, hohe, weisse Baellchen  
(cc)



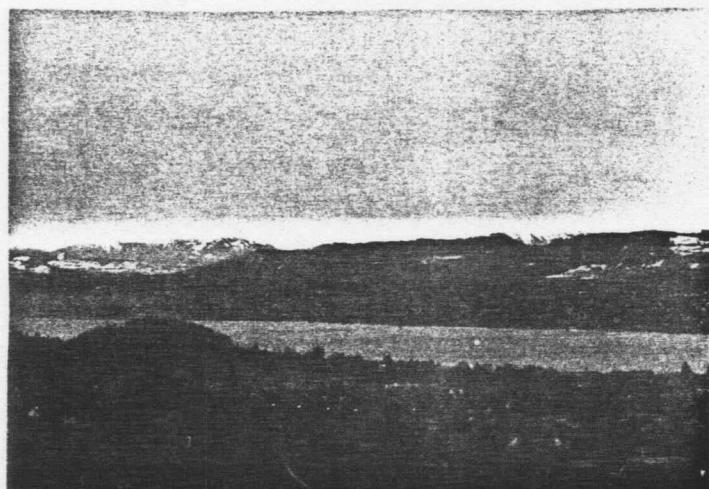
ALTOCUMULUS: mittelhohe Haufenschichtwolke. Wolkenballen  
(ac) erscheinen wie parallele Walzen.



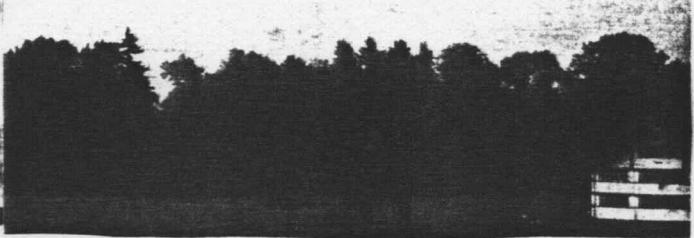
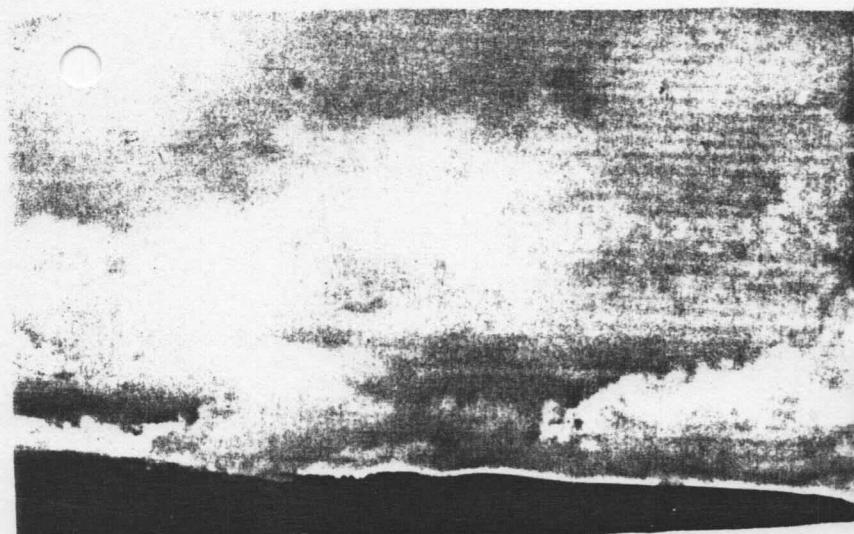
STRATOCUMULUS: Haufenschichtwolke. Anfaenglich entstandene Haufenwolken  
(sc) sind zu einer niedrigen Wolkendecke zusammengewachsen



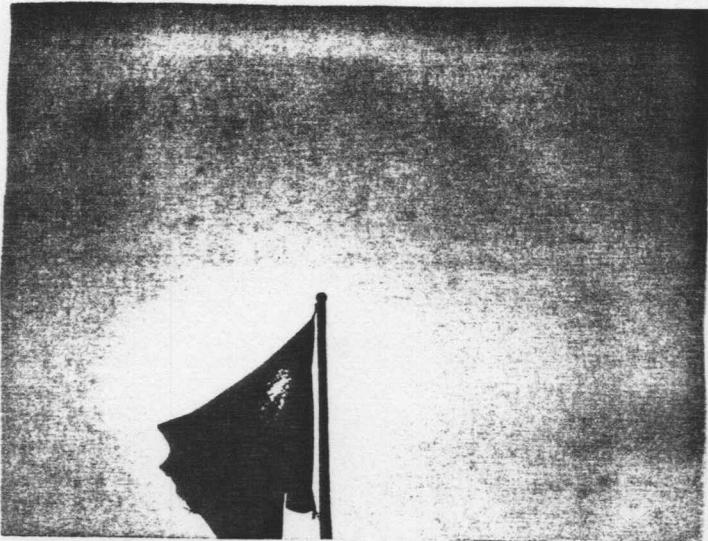
CIRRUS: Federwolke.Baender oder Federform  
(ci)



ALTOSTRATUS: mittelhohe Schichtwolke.Gleichmaessig bleigrau.  
(as) Ohne Struktur.Sonne noch als heller Fleck zu erkennen



STRATUS:niedrige,gleichmaessige Schichtwolke (sog. Hochnebel)  
(st) graue,strukturlose Wolkendecke.

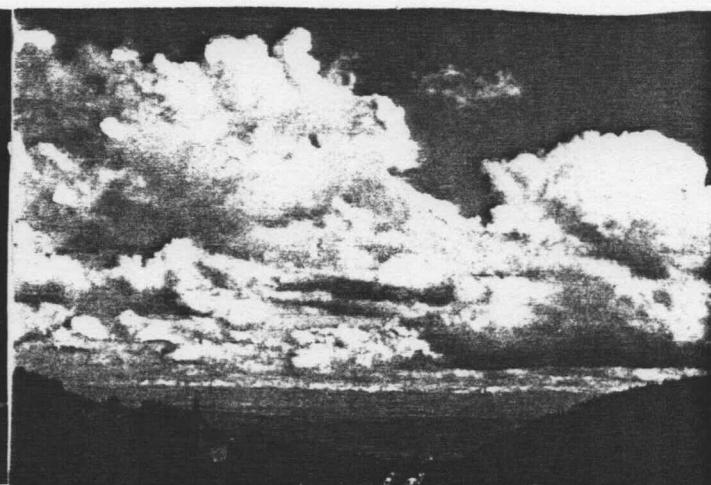
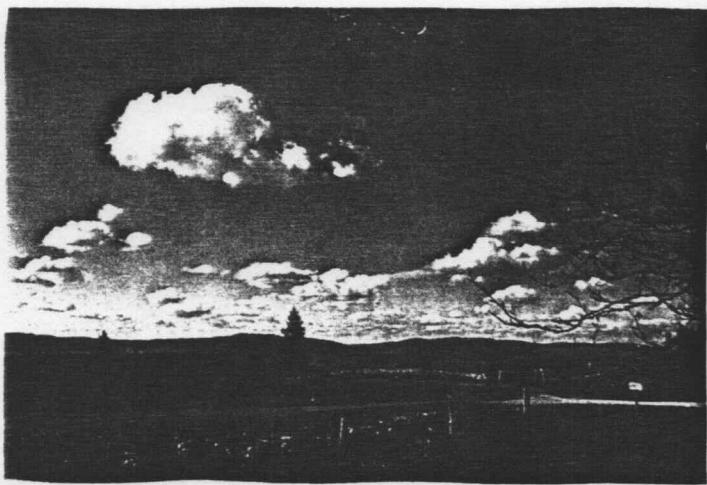


CIRROSTRATUS: hohe Schleierwolke. hoher duenner Wolkenschleier.

(cs)

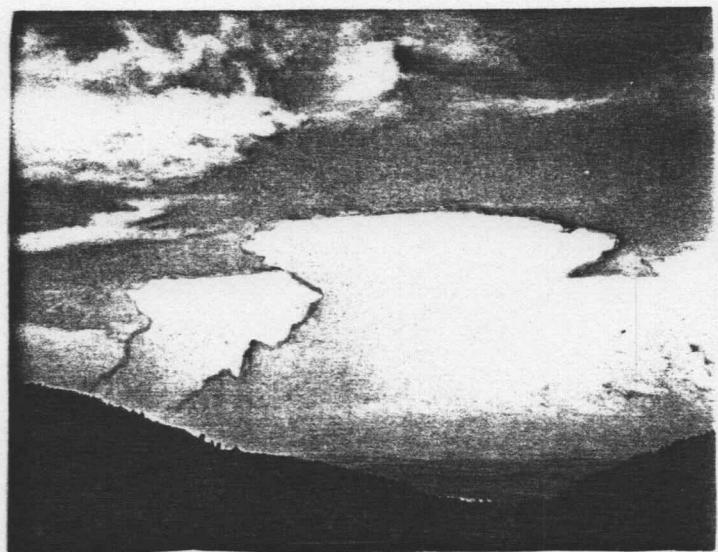
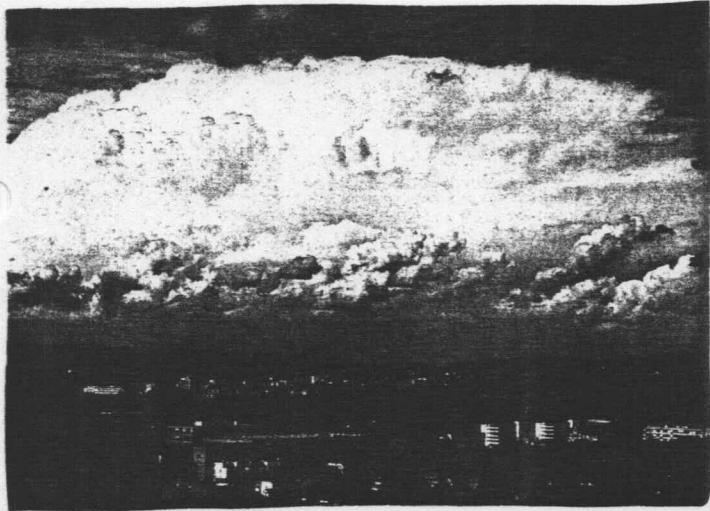
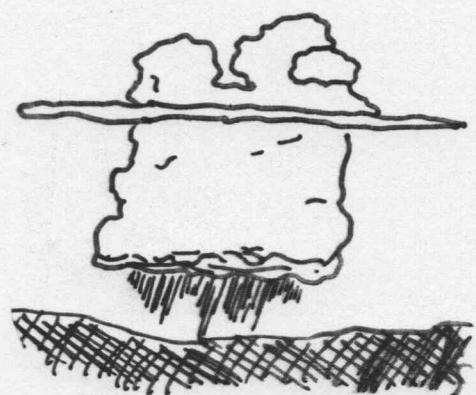


NIMBOSTRATUS: Regenschichtwolke. Dunkle, strukturlose Schicht-  
(ns) wolken die den ganzen Himmel bedecken.

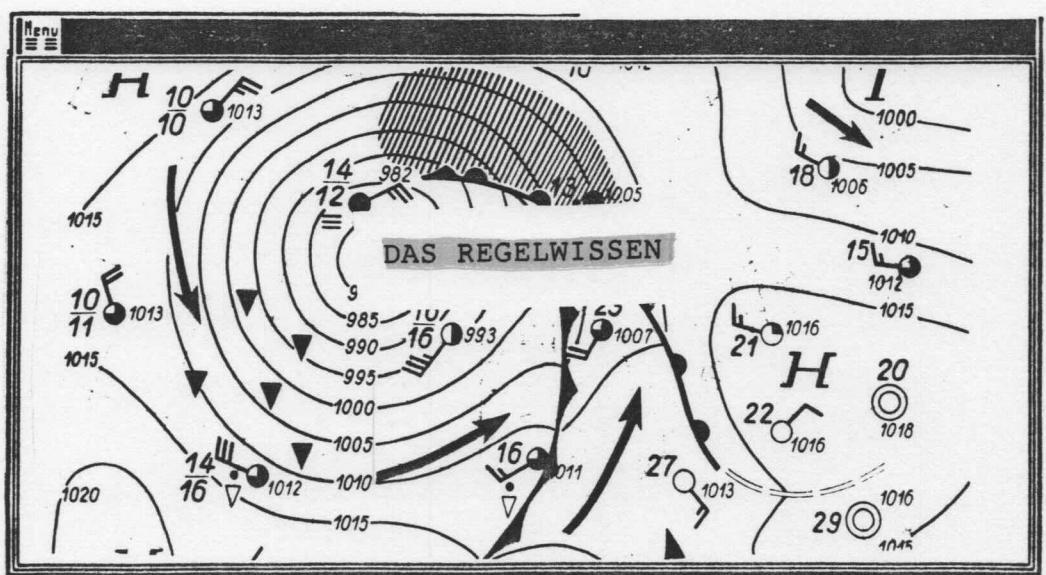


CUMULUS: Haufenwolken. Flache, abgerundete Quellwolke.  
(cu)





CUMULONIMBUS: grosse, hohe, Haufenwolke evtl. Ambossform  
(cb)



Dies sind die Erklaerungstexte zu den einzelnen Regeln.  
Sie sind der Reihenfolge ihrer Entstehung nach aufgefuehrt, welche  
etwas von der Reihenfolge im Sourcecode abweicht.  
Fast die gleichen Texte sind im Sourcecode als uebersichtliche  
Erklaerungen zu finden. Sie sind hier zum nachschlagen noch  
einmal aufgefuehrt.  
Alle Rules welche die Endung -impl im Namen haben, koennen erst  
dann eine Aussage machen wenn keine der anderen Regeln mehr  
eine Aussage machen kann. Es sind eher vage Regeln die keine  
Prognosen machen, sondern innerhalb eines Zeitpunktes komplettieren.  
zB. Die Rule "wenn es regnet muss es auch Wolken haben.", ist  
fuer den Fall gedacht, dass auf irgendeinen Zeitpunkt zwar richtig  
Regen prognostiziert wurde, aber keine andere Rule den Anstieg  
der Wolkendichte verzeichnete.  
Die Situation " Regen: 44 Wolkendichte: 0 " muss unmöglich sein.

1. Stratus-Wolken grosser Dichte bringen evtl. Spruehregen  
(zb. bei Bisenlage in der Schweiz)
2. Wenn Stratocumuluswolken eine gleichmaessige graue Schicht werden,  
dann kann es regnen.  
(zb. nach Kaltfront oder zwischen Warm- und Kaltfront)
3. Stratocumulus kleiner Dichte=kein Regen zu erwarten.  
Schoenwetterwolken im Winter ueber Land.
4. Wenige Cumuli kleiner Dichte sind Schoenwetterwolken, Wind  
ist leicht rechtsdrehend in Boen.
5. Grosse Cumulus-Wolken bei kuehler polarer Luftstroemung  
aus NW bringen evtl. Schauer(Cumulonimbus). (Folgen der Hauptdepression).
6. Altocumulus kann Gutes und Schlechtes bedeuten.  
Schnell oder langsam ziehend?
- 6.2 Altocumulus/schnell ziehend=Regen, Wind.
- 6.3 Altocumuli ziehen langsam : eher Schoenwetterwolken.
9. Cirrocumulus=entweder sich auffuellendes oder neues Tief.  
deuten auch auf abgebremste Bewegung des Tiefs, an dessen Rand sie auftreten  
Prognose ist schwieriger und daher lasse ichs bleiben.
10. Cirrus/Cirrostratus/fallender Druck: TD-Gebiet im anzug(as, weiterer  
Druckfall, Regen, Wind und Bewoelkungszunahme stehen bevor)  
(Siehe Tafel ueber Durchzug des T.)
11. Altostratus/fallender Druck=Ns, Regen, Wind nimmt zu, Temp. faellt.  
Warmfront.

(siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

12.

Nimbostratus/Regen=voruebergehend ,warm,stratocumulus,Wolkenloecher.

Sehr feuchte Luft.

Diese Zeit zwischen Warm- und Kaltfront ist sehr variabel, im Extremfall (Okklusion) sogar null.

(siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

13.

Nimbostratus/ noch kein Regen: bald Regen,Boeen,Kuehle,Luftdruck faellt. Warmfront, leichter Temperaturfall wegen dem Regen.Luft ziemlich feucht.

(siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

14.

Cumulonimbus/noch kein Regen=bald Regen,Wind,Kaelte=Kaltfront (Gewitterwolke). (siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

15.

Cumulonimbus/Regen:Kaelte,Aufheiterung,Regen hoert bald auf.

Meist folgen Cu, dann Sc die sich bald aufloesen.

(siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

16.

Tiefer Luftdruck bed. meistens eher schlechtes Wetter.

17.

Luftdruck lange unveraendert=keine grosse LD-Aenderung bis in 6-12h.

18.

Luftdruck steigt noch stetig=besseres Wetter in 6-12h.

19.

Luftdruck steigt langsam stetig, was fuer Wetterverbesserung spricht.

20.

Luftdruck faellt mehr als 1mb/h=Sturm mit viel Wind, weiterer Druckfall,Regen.

21.-impl

Hoher Luftdruck bei eher gutem Wetter wenig Wolken,Niederschlaege.

22.-impl

Tiefer Luftdruck bei eher schlechtem Wetter, viel Wolken Niederschlaege.

23.

Wolkendichte nimmt stark zu: TD-Einfluss,mehr Wolken in 1-3h.

24.

Wolkendichte nimmt stark ab: HD-Einfluss,weniger Wolken in 1-3h.

25.

Starke Winddrehung verkuendet Wetterumschwung.

26.

Wind nahm wahrscheinlich vom Morgen zum Mittag hin zu:  
gutes Wetter

26.2

Hypothese der Windzunahme durch Abfrage bestaetigt.

28.

Wind nahm wahrscheinlich vom Mittag zum Abend hin zu:  
schlechtes Wetter.

28.2

Hypothese der Windzunahme durch Abfrage bestaetigt.

30.

Hartnaeckiger Nebel bringt Regen.(hohe Luftfeuchtigkeit)

31.

Ein wenig Morgen Nebel verkuendet weniger Niederschlaege.  
Nachfragen ob es wirklich nur Morgen Nebel ist.

31.2

Hypothese Morgen Nebel durch Abfrage bestaetigt, weniger Regen in Zukunft

32.

Hypothese viel Morgentau da bis jetzt hohe Temperaturen.  
(Nach warmen Tagen sollte es viel Tau haben.)

32.2

Hypothese Morgentau durch Abfrage bestaetigt(es hatte viel Tau).

32.3

Hypothese Morgentau durch Abfrage wiederlegt(es hatte wenig Tau=Regen)

35.-impl

Luftfeuchtigkeit berechnet aus Temp. und absoluter Feuchte.

Wenn die Luftfeuchtigkeit nicht anderwertig bestimmt ist, wird sie aus der Temperatur und der absoluten Feuchte aus der vorhergehenden Zeit berechnet, unter der Annahme, dass die absolute Feuchte in dieser Zeit etwa gleich bleibt.

36.

Luft ist wassergesaettigt=100% : bedeutet Nebel.

Steigt die Luftfeuchtigkeit ueber 100% an, wird der Ueberschuss in Nebel umgewandelt.

37.

Sued-Wetterlage: Sued-Winde,trockene Luft,wenig Wolken,Niederschlaege.

38.

Nord-Wetterlage: Nord-Winde,kalt,regnerisch.

39.

West-wetterlage: West-Winde,regnerisch,viele Wolken,wechselhaft.

40.

Hypothese verbreiterte Kondensstreifen von Duesenflugzeugen,  
weil eher tiefer Luftdruck.

40.2

Kondensstr. aufgelöst=trockene obere Luftsichten,kein Regen.

40.3

Kondensstr. dicht oder verweht=Einfluss einer Warmfront,Regen.

43.

Grosse Hitze,Altocumulus,wenig Wind,hohe Luftfeuchtigkeit sind  
ideale Voraussetzungen fuer ein Gewitter.

44.

Cirrus oder Cirrostratus kuendigen ein T in 6-12h an=Regen.

Aber nur bei fallendem Druck, da sie auch nach dem T. auftreten koennen.  
(siehe Tafel ueber Durchzug des T.)

45.

Stabile Hochdrucklage im Sommer:wenig Wolken und Niederschlaege, hoher  
Luftdruck.

46.

Stabile Hochdrucklage im Winter: Bodennebel ca. 200m dick.  
evtl. Stratus-wolken (meist aber nicht sichtbar, da es ja Nebel hat.)

47.

Wetterlage: Flache Druckverteilung beguenstigt Waermegewitter, Quellwolken.

48.

Wind auffrischend: hoehere Windstaerke in Zukunft(logisch oder ?).

49.

Wind abflauend : weniger Wind in naher Zukunft. "

50.-impl

Wenn es irgendwann regnet, dann muessen auch Wolken da sein.

51.-impl

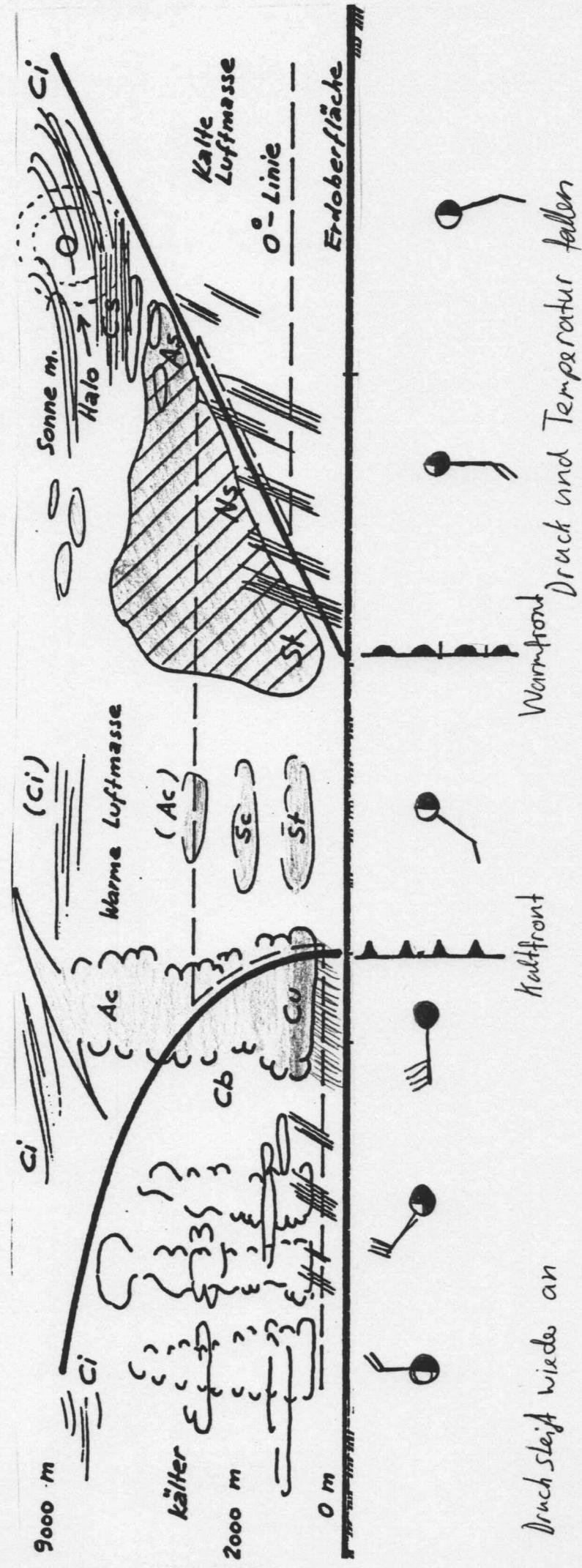
Wenn es regnet muss die Luftfeuchtigkeit hoch sein.

52.

Luftdruck vor 6-12 bis Gegenwart ist gefallen --> tiefer in 6-12H.



## ZUGRICHTUNG DES TIEFDRUCKGEBIETES

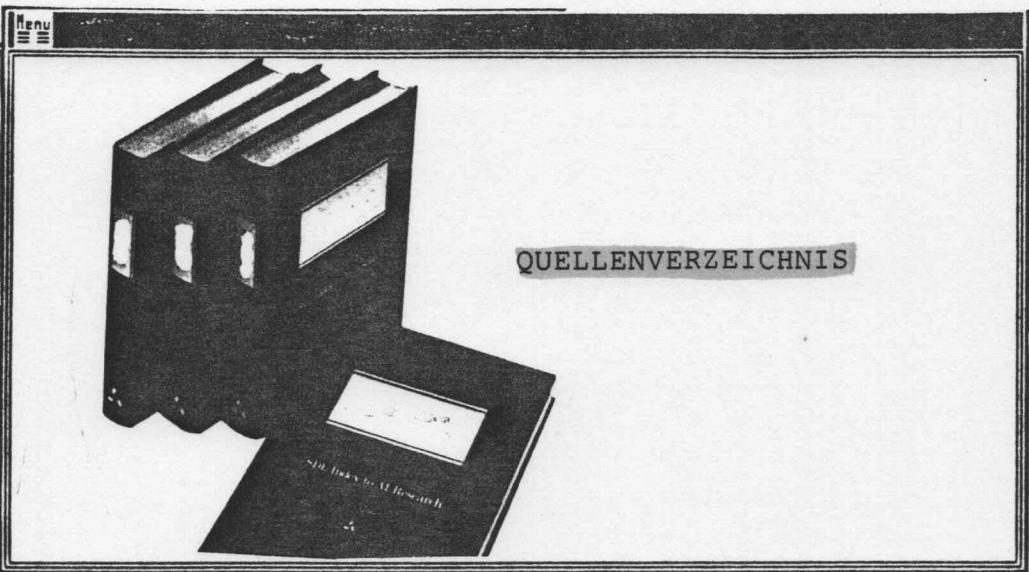


Druck steigt wieder an

Wärmefront  
Druck und Temperatur fallen

Kaltfront

FEUCHTIG.	70 %	-	90 / 100 %	80 %	60 %
-----------	------	---	------------	------	------



## UEBER OPS5

---

Brownston/Kant/Farrell/Martin  
Programming Expert Systems in OPS5  
Addison Wesley

VAXops5 User's Guide(Vol.2), Reference Manual (Vol.1)  
DIGITAL

|OPS Concepts and Programming|, EXPERT SYSTEMS TRAINING PROGRAM  
DIGITAL

## UEBER EXPERTENSYSTEME

---

Chris Naylor ; wenig ueber OPS(BASIC), dafuer ueber  
Build your own Expert System ; eine Variante eines wettervorher-  
SIGMA-press ; sagenden Expertensystems.

## UEBER WETTER

---

Einfach und gut:

Rolf Mangelsen  
Praktische Wetterkunde ; Tafeln zu Luftdruck, Windstaerke,-richtung  
Kosmos Franckh

Alan Watts  
Wolken und Wetter ; lieferte zwei Bilder im Teil 'Wolkentafeln'  
Delius Klasing

K.H Hack  
Typische Wetterlagen im Alpenraum ; die meisten Wolkenbilder  
Schweizerische Meteorologische Anstalt

fuer Seefahrer:

Seemannschaft, Handbuch fuer den  
Yachtsport.  
Delius Klasing

REED's Nautical Almanac 1986  
Thomas Reed

Ausserdem standen mir die Unterlagen fuer den Meteokurs  
des Cruising Club der Schweiz zur verfuegung, aus denen einige  
Skizzen in den Teilen 'Regelwissen' und 'Wolkentafeln' stammen.