



Schweizerische Eidgenossenschaft  
Confédération suisse  
Confederazione Svizzera  
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI  
Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie MeteoSchweiz

**Arbeitsberichte der MeteoSchweiz Nr. 88  
(Vormals Arbeitsberichte der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt)**

**Handbuch für die Segelflugprognose**

**Gaudenz Truog**

**Zürich 1979**

**Zweite, unveränderte Auflage 2008**

No. 88

HANDBUCH FUER DIE SEGELFLUGPROGNOSE

von

Gaudenz Truog, Zürich

Juli 1979

Flugmeteorologie

551.509:797.551

Zusammenfassung

Ein an zwei internationalen Tagungen erarbeitetes Segelflugprognosenhandbuch, das die heutigen Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen zusammenfasst (im Sommer 1978 als WMO-Publikation erschienen), wird ins Deutsche übersetzt.

In diesen Originaltext eingeschoben sind zahlreiche eigene Untersuchungen meteorologischer Elemente, die für die Segelflugverhältnisse in der Schweiz von Bedeutung sind. Als Grundlagenmaterial dienten die Wetterverhältnisse und Segelflugleistungen des Jahres 1976. In der Folge wird aus diesen Resultaten eine Checkliste abgeleitet, die 1977 nochmals überprüft und in einigen wenigen Punkten modifiziert wird. Am Schluss werden zwei typische Segelfluglagen besprochen.

Résumé

Le manuel pour le vol à voile (paru en été 1978 comme publication de l'OMM) a été élaboré lors de deux congrès internationaux. Il fût ensuite traduit en allemand. Diverses études météorologiques personnelles ont été inserées dans le texte original. Ces études se rapportent spécialement aux conditions de vol à voile suisse.

Les performances des pilotes et les conditions météorologiques de l'année 1976 ont servi de matériel de base pour cette étude. A partir des résultats obtenus une liste de contrôle fut établie, et revisée en 1977.

L'analyse de deux situations météorologiques typiques de vol à voile termine ce travail.

### Riassunto

Viene tradotto in tedesco un manuale sulla previsione per il volo a vela, elaborato in due congressi internazionali e che raccoglie le attuali conoscenze e esperienze pratiche (apparso quale pubblicazione dell'OMM nell'estate 1978). Nel testo originale sono inserite numerose ricerche proprie su elementi meteorologici, importanti per le condizioni del volo a vela in Svizzera. Quale materiale di base servirono le condizioni meteorologiche e le prestazioni nel volo a vela dell'anno 1976. In seguito fu ricavato da questi risultati una lista di check, controllata nuovamente nel 1977 e modificata in pochi punti. Alla fine vengono esaminate due situazioni tipiche per il volo a vela.

### Summary

The Meteorological Handbook for Gliding (published 1978 by WMO) is a product of two international conferences and summarises today's meteorological knowledge and experience. It is translated into German.

Meteorological elements influencing gliding conditions in Switzerland have been investigated with 1976 meteorological and gliding performance data. The results are published along with the translation. Consequently a checklist for gliding forecasts is suggested (verified and slightly modified on the basis of 1977 data). Finally two typical synoptic patterns are discussed.

# I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

---

seite

<u>einleitung</u>	I
1. <u>einige allgemeine angaben über segelflug</u>	1
1.1 vom start zur landung	1
1.1.1 der start	1
1.1.2 der flug	1
1.1.3 wolkenflug und wolkenflugzonen	2
1.1.4 der strecken- oder überlandflug	5
1.1.5 landung	6
1.1.6 bedeutung des segelfluges in der schweiz	6
1.1.7 segelflugplätze in der schweiz	6
1.1.8 segelflugmeisterschaften	8
1.2 eigenschaften und flugleistungen von segelflugzeugen	8
1.2.1 eigenschaften	8
1.2.2 flugleistungen	9
1.3 wetterfaktoren, die für den segelflug wichtig sind	9
1.3.1 bodenwind	9
1.3.2 höhenwind	10
1.3.3 sicht	12
1.3.4 wolkenbasis	12
1.3.5 wolkenmenge und thermikflüge	13
1.3.6 cumulusgrösse und -verteilung	14
1.4 bedingungen, die den thermik-segelflug einschränken oder verhindern	14
1.4.1 kein sonnenschein	14
1.4.2 grosse konvektive wolken	14
1.4.3 wolkenausbreitungen	15
1.4.4 eindringen einer dünnen kaltluftschicht	15
1.4.5 advektion von warmluft in der Höhe oder subsidenz	15
1.4.6 niederschlag	15
1.5 gefährliche erscheinungen für den segelflug	16
1.5.1 orographisch bedingte turbulenz	16
1.5.2 gewitter	16
1.5.3 niederschlag	16
1.5.4 sich schliessende wolkendecke	17
2. <u>thermikvorhersage</u>	17
2.1 prognose von beginn und dauer der thermik	19
2.1.1 auswahl der radiosonden	19
2.1.2 bestimmung der zu erwartenden sonneneinstrahlung und der maximaltemperatur	19
2.1.3 andere methoden zur voraussage der maximaltemperatur	20

2.2	sonneneinstrahlung und entwicklung von cumuli	20
2.2.1	bestimmung des taupunktes respektive taupunktsänderungen	20
2.2.2	inversion und cumulusvorhersage	24
2.2.3	ausbreitung von cumuli	25
2.2.4	auflösung der cumuli unter einer inversion	26
2.2.5	cumulusbildung ohne inversion	27
2.2.6	höhe des kondensationsniveaus	29
2.2.7	wolkenbasisprobleme in der schweiz	30
2.3	stärke der aufwinde (thermik)	33
2.3.1	beobachtete aufwindstärken	33
2.3.2	unterschiede der aufwindstärken	33
2.3.3	mittlere stärke der thermik und beobachtete unterschiede	34
2.3.4	voraussage der thermik	34
2.3.5	advektive änderungen	35
2.3.6	dauer der thermik am abend	36
2.3.7	aufwindstärke und flugzeugeigenschaften	37
2.4	zusammenfassung der merkmale, auf die in radiosonden zu achten ist	38
2.4.1	höhe der trockenadiabaten	38
2.4.2	höhe der instabilen schicht	38
2.4.3	taupunktsdifferenz bei der inversion	39
2.4.4	feuchtigkeitsverhältnisse über der inversion	39
2.5	günstige merkmale auf synop-karten	40
2.5.1	bodenkarte	41
2.5.2	500- oder 300 mbar-karte	42
2.5.3	850- oder 700 mbar-karte	45
2.6	einfluss des windes auf die thermik	47
2.6.1	windstill	47
2.6.2	schwacher wind (weniger als 10 kt)	47
2.6.3	mässiger wind (10-20 kt)	47
2.6.4	starker wind (mehr als 20 kt)	47
2.6.5	vertikale windscherung	47
2.7	einfluss des geländes, der vegetation und der bodenfeuchtigkeit	49
2.7.1	reflektionsvermögen des bodens	49
2.7.2	bodenfeuchtigkeit und vegetation	49
2.7.3	landschaftsstruktur	50
2.7.4	neigung der bodenoberfläche	50
2.7.5	kombinierte effekte	50
2.8	thermik in den bergen	51
2.8.1	intensität der strahlung	51
2.8.2	beschaffenheit der bodenoberfläche	51
2.8.3	neigung der hänge	51
2.8.4	einige bemerkungen zu den angaben im originaltext 2.8.1 bis 2.8.3	54
2.8.5	wolkenbasis in den alpen	54
2.8.6	überprüfung einiger meteorologischer elemente, die für den alpensegelflug wichtig sind	56
2.9	wolkenstrassen	62
2.9.1	voraussetzung für die bildung von wolkenstrassen	62
2.9.2	abstand der wolkenstrassen	62
2.9.3	synoptische situation	63

3.	<u>checklisten</u>	65
3.1	checkliste jura + schwarzwald	66
3.2	checkliste voralpen und alpen	67
3.3	erfolgskontrolle der checklisten	68
4.	<u>jahrszeitliche unterschiede der anzahl günstiger segelflug-wetterlagen</u>	70
5.	<u>prognosen für den wellensegelflug</u>	71
5.1	voraussetzungen für leewellen in der troposphäre	72
5.1.1	temperaturprofil	72
5.1.2	windprofil	72
5.2	eigenschaften der leewellen	72
5.2.1	wellenlänge	72
5.2.2	wellenamplitude	74
5.2.2.1	topographische faktoren	74
5.2.2.2	strömungseigenschaften	75
5.2.3	rotoren und turbulente schichten	75
5.2.4	wellen und konvektionswolken	77
5.3	topographische einflüsse	78
5.3.1	allgemeine einflüsse	78
5.3.2	einflüsse der asymmetrie	78
5.3.3	länge des gebirges	79
5.3.4	einzelne hügel	79
5.4	synoptische merkmale für die bildung von wellen	80
5.4.1	streckenflüge in wellen	80
5.4.2	allgemeine bedingungen für wellensegelflug	80
5.4.3	günstige regionen auf der bodenkarte	81
5.4.4	günstige regionen auf der 500- oder 300 mbar-karte	81
5.4.6	ungünstige regionen	83
5.5	voraussage der wellen	83
5.5.1	das lester-harrison nomogramm	83
5.6	wellenflug in der schweiz	85
5.6.1	allgemeines	85
5.6.2	anwendung des lester-harrison nomogramms bei südföhnlagen in den alpen	85
6.	<u>der gute segelflugtag in den alpen vom 16. juli 1976</u>	88
6.1	die wetterlage vom 16. juli 1976	88
6.2	der flug über 811 km von herbert frehner	93
7.	<u>der tag mit guter wellenentwicklung am alpennordrand vom 10. november 1976</u>	96
7.1	die wetterlage vom 10. november 1976	96
8.	analogfälle	100
	pentadenmittel der absoluten topographie 500 mbar für den zentral-alpenpunkt	101
	literaturverzeichnis	102

## einleitung

---

dieses handbuch für segelflugprognosen besteht aus zwei teilen. zum einen handelt es sich um eine übersetzung (zum teil gekürzt) eines "manual for gliding", das folgendermassen entstand:

der leiter der wissenschaftlichen sektion der OSTIV (organisation scientifique et technique internationale du vol à voile), dr. j.p. kuettner (usa), organisierte 1971 in zell am see in österreich eine arbeitswoche, die dann 1976 in örtinghausen in deutschland ihre fortsetzung fand. an diesen tagungen nahmen meteorologen aus etwa 12 ländern teil, darunter einige ausgesprochene experten auf dem gebiet der segelflugmeteorologie, die meisten davon zudem selbst aktive segelflieger. daneben nahmen aber auch einige jüngere prognostiker aus kleineren ländern wie finnland, österreich und der schweiz teil, die sich im rahmen ihrer möglichkeiten ebenfalls etwas eingehender mit segelflugmeteorologie befasst hatten und jeweils an den nationalen segelflugmeisterschaften als meteorologische berater tätig waren. zudem handelte es sich bei dieser zweiten gruppe um aktive prognostiker, während die meteorologen der expertengruppe meist in andere zweige (forschung etc.) übergewechselt hatten. diese aus sehr verschiedenartigen personen zusammengesetzte gruppe (alter, intelligenz, erfahrung, tätigkeit) harmonierte und ergänzte sich gut, so dass nach teilweise langen diskussionen schriftliche unterlagen ausgearbeitet wurden, die dann von tom bradbury, england, überarbeitet und zu einem manual for gliding zusammengestellt wurden. dieses handbuch, das mit einigen kleineren änderungen und ergänzungen im sommer 1978 als wmo-publikation erschienen ist, habe ich nun zunächst ins deutsche übersetzt und zum teil etwas gekürzt, besonders die kapitel über die seebrise und ähnliches. da aber das manual so konzipiert wurde, dass es in allen ländern anwendbar ist, mussten gewisse teile etwas allgemein gehalten werden. deshalb habe ich diese aussagen wie auch besonders das kurz ausgefallene kapitel über segelflug im gebirge aufgrund der erfahrungen in der schweiz näher untersucht. dies ergab den zweiten teil des handbuchs, der, eingeschoben in die entsprechenden kapitel des originaltextes, die verhältnisse auf der alpennordseite und in den alpen etwas genauer zu erfassen suchte. der originaltext wurde mit weitem zeilenabstand und unter voller ausnützung der blattbreite geschrieben.

alle eigenen beiträge sind in gedrängter form dargestellt, so dass eine klare trennung zwischen originaltext und eigenen untersuchungen gemacht werden kann.

als grundlagenmaterial wurden im frühjahr und sommer 1976 soviele flugberichte von segelfliegern gesammelt wie nur möglich. besonderen dank verdienst j. knöpfli vom meteo kloten, der mir aus dem raum schänis - ostschweiz viele berichte zukommen liess, dann aber vor allem auch franz lauper, der leider im sommer 1977 tödlich verunglückte. von ihm stammen viele berichte, und in zahlreichen gesprächen konnte er mir eine menge guter hinweise geben, da er über eine gute beobachtungsgabe verfügte. zudem hatte ich als nicht-segelflieger einige male gelegenheit, im doppelsitzer mit ihm etwas "praxis" zu schnuppern.

zusammen mit den segelflugrapporten, die an der landeswetterzentrale eingingen, sowie den angaben von etwa 350 flügen, die mir vom sekretariat des aero clubs der schweiz zur verfügung gestellt wurden, liessen sich für die region jura - schwarzwalde 57 tage, für die region voralpen und alpen 29 tage in 3 klassen einteilen und zwar aufgrund der zurückgelegten distanzen: ungünstige oder schwache lagen:

keine streckenflüge oder flüge über eine distanz von weniger als 200 km  
mäßige lagen:

streckenflüge über 200 km vereinzelt bis etwa 300 km

gute lagen:

zahlreiche streckenflüge über 300 km respektive einzelne oder mehrere flüge über 500 km.

mit dieser einteilung wurde nun versucht, eine reihe von elementen genauer zu erfassen und die mehr oder weniger starke abhängigkeit der segelflugverhältnisse von bestimmten meteorologischen parametern festzustellen. bei der auswahl der kriterien wurde darauf geachtet, wenn immer möglich klar definierte werte zu verwenden, die zwischen 00z und 06z zur verfügung stehen, damit die checkliste, die aus den verschiedenen parametern entstand, nicht durch unterschiedliche interpretationen verfälscht wird. es wurden daher bewusst einige nachteile in kauf genommen, die entstehen, wenn keine prognostizierten elemente in einer checkliste figurieren.

### III

die so entstandene checkliste wurde dann in der saison 1977 regelmässig angewendet. aufgrund der gemachten erfahrungen musste sie in einzelnen punkten leicht modifiziert werden. im allgemeinen aber brachte sie die erwarteten resultate, was besonders erfreulich war, da es sich beim jahr 1976 um ein sehr gutes, 1977 dann aber um ein eher schlechtes segelflug-jahr handelte. daher lagen aus beiden jahren zusammen für die drei kategorien schwach - mässig - gut genügend Fälle vor.

im kapitel über den wellensegelflug überprüfte ich eine methode zur vor-aussage von leewellen, die von den segelfliegern für höhenflüge ausge-nutzt werden können. anhand von 26 fällen ergab sich, dass diese methode auch am alpennordrand gute resultate liefert und dass sie besonders wegen ihrer einfachen form für den wetterdienst geeignet ist.

im übrigen wurde mit verschiedenen aktiven segelfliegern gespräche ge-führt, so mit herbert frehner, werner straub und heidi götz, die mir zum teil mit sehr nützlichen unterlagen behilflich waren.

auch joseph strobel unterstützte mich mit einer reihe von korrekturen und ergänzungen.

dieses handbuch entstand in enger zusammenarbeit mit dr. g. gensler und b. beck, die mir mit vielen anregungen halfen und mir ermöglichten, diese arbeit fertigzustellen. roland baumberger hat mich bei der datensuche sowie bei verschiedenen darstellungen unterstützt.

allen diesen "mitarbeitern" möchte ich herzlich danken. ich hoffe, dass das nun vorliegende handbuch als grundlage für neueintretende prognostiker und berater nützlich sein wird, dann aber auch im frühling vor beginn der neuen segelfugsaison von allen zur auffrischung der kenntnisse verwendet werden könnte. die checklisten als eine art konzentrat des handbuches sollten zu einer etwas zuverlässigeren voraussage der tage mit guten segelflugverhältnissen führen, da diese nun unabhängiger von der erfahrung und auch von den interessen des prognostikers und beraters ist. ferner kann ein versuch gewagt werden, in der segelflugprognose eine angabe ein-zuführen, in welchem gebiet über welche distanzen streckenflüge am ehesten möglich sind.

## 1. einige allgemeine angaben über segelflug

### 1.1 vom start zur landung

#### 1.1.1 der start

beim start wird das segelflugzeug auf eine höhe von 300 bis 600 meter über grund gebracht. dabei sind folgende startarten üblich:

a) schlepp durch ein motorflugzeug

b) windenstart:

hier wird das segelflugzeug an das seil einer fest montierten winde angehängt. durch das seil, das aufgerollt wird, geht das flugzeug im steilflug in die höhe, bis es beinahe senkrecht über der winde ist.

c) autostart:

hier wird das segelflugzeug mit einem drahtseil von 500 bis 1000 m lange an ein auto angehängt.

d) katapultstart:

mit einem elastischen seil wird das flugzeug in die luft katapultiert. bei dieser methode ist aber der höhengewinn so gering, dass sie meist nur von hügeln oder bergkuppen aus angewendet wird.

#### 1.1.2 der flug

nach dem start muss der pilot eine zone finden, über welcher die luft rascher aufsteigt als das flugzeug sinkt (in bezug auf die umgebungsluft). solange nun das flugzeug in einer aufwindzone bleibt, gewinnt es an höhe. zonen aufsteigender luft sind zu finden:

a) auf der aufwindseite eines hügels (figur 1.1a)

b) wenn von unten erwärmte luft wegen ihrer gegenüber der umgebung geringeren dichte aufsteigt. dabei bilden sich blasen oder schlüche aufsteigender luft (figur 1.1b)

c) wo eine horizontale strömung in eine wellenströmung übergeht.

wellenströmungen sind auf der abwindseite (lee) von hindernissen zu finden (hügel, berge, gebirge), figur 1.1c etc. wellen können bei gewissen bedingungen auch über oder bei konvektiven aufwindzonen vorhanden sein. der pilot sucht nun den wellenbereich zwischen wellenberg und wellental, wo aufsteigende luftmassen vorherrschen.

normalerweise wird unter sichtflugbedingungen geflogen. wolkenflug ergibt verschiedene probleme, ist aber ausserhalb von luftstrassen und kontrollzonen erlaubt.

#### 1.1.3 wolkenflug und wolkenflugzonen

nachteile beim wolkenflug sind:

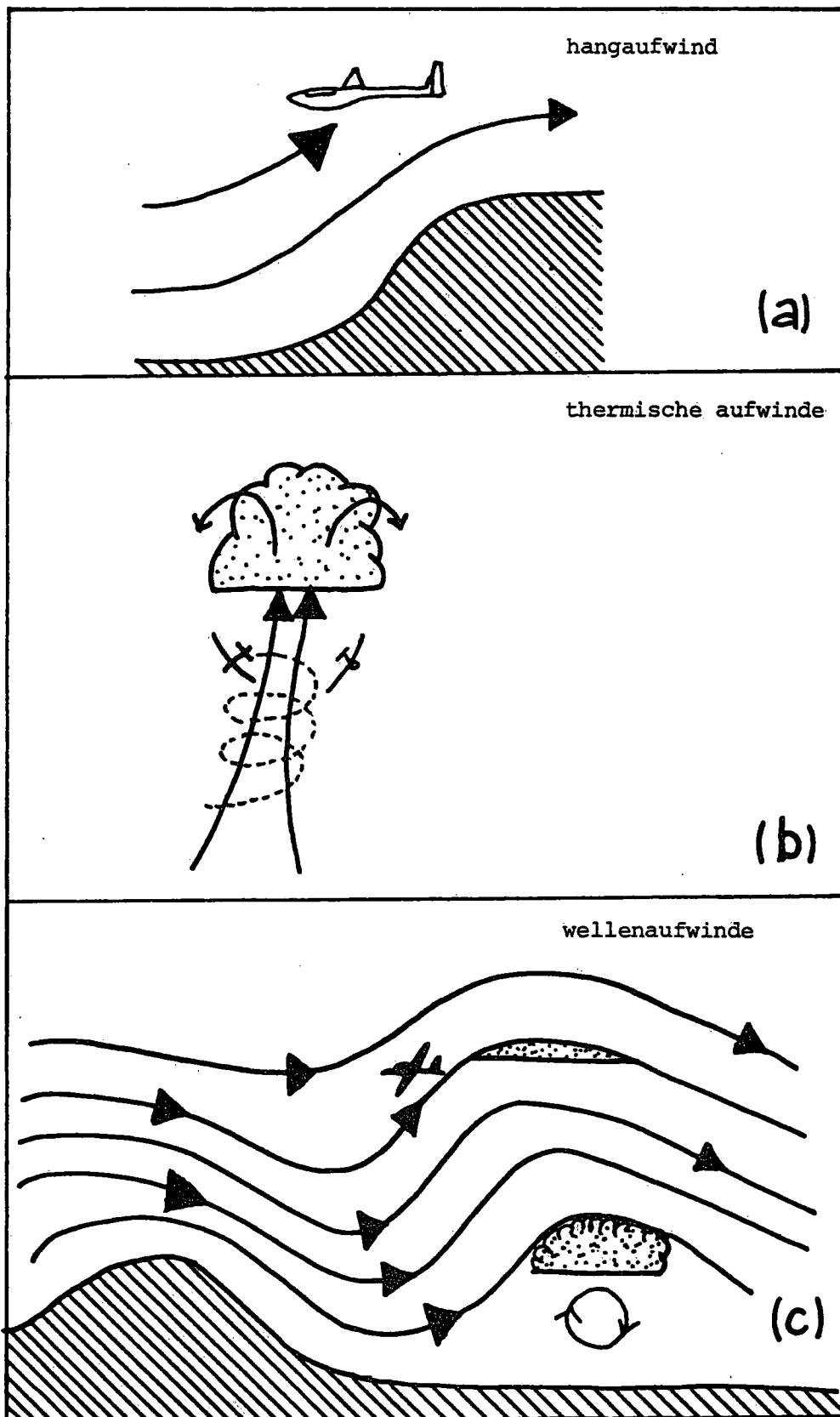
- a) pilot muss blindflugbrevet besitzen und gut ausgebildet sein
- b) kollisionsgefahr in den wolken, wenn mehrere piloten in eine wolke einfliegen
- c) erschwert navigation
- d) vereisungsgefahr bei flügen in höhen mit temperaturen unter null grad

auf der anderen seite bietet wolkenflug folgende vorteile:

- a) es können grössere höhen erreicht werden
- b) bei tiefer wolkenbasis und grossem abstand der einzelnen wolken kann ein segelflieger unter umständen die nächste wolke und damit aufwindzone nicht erreichen, ohne die zusätzlich in der wolke gewonnene Höhe.

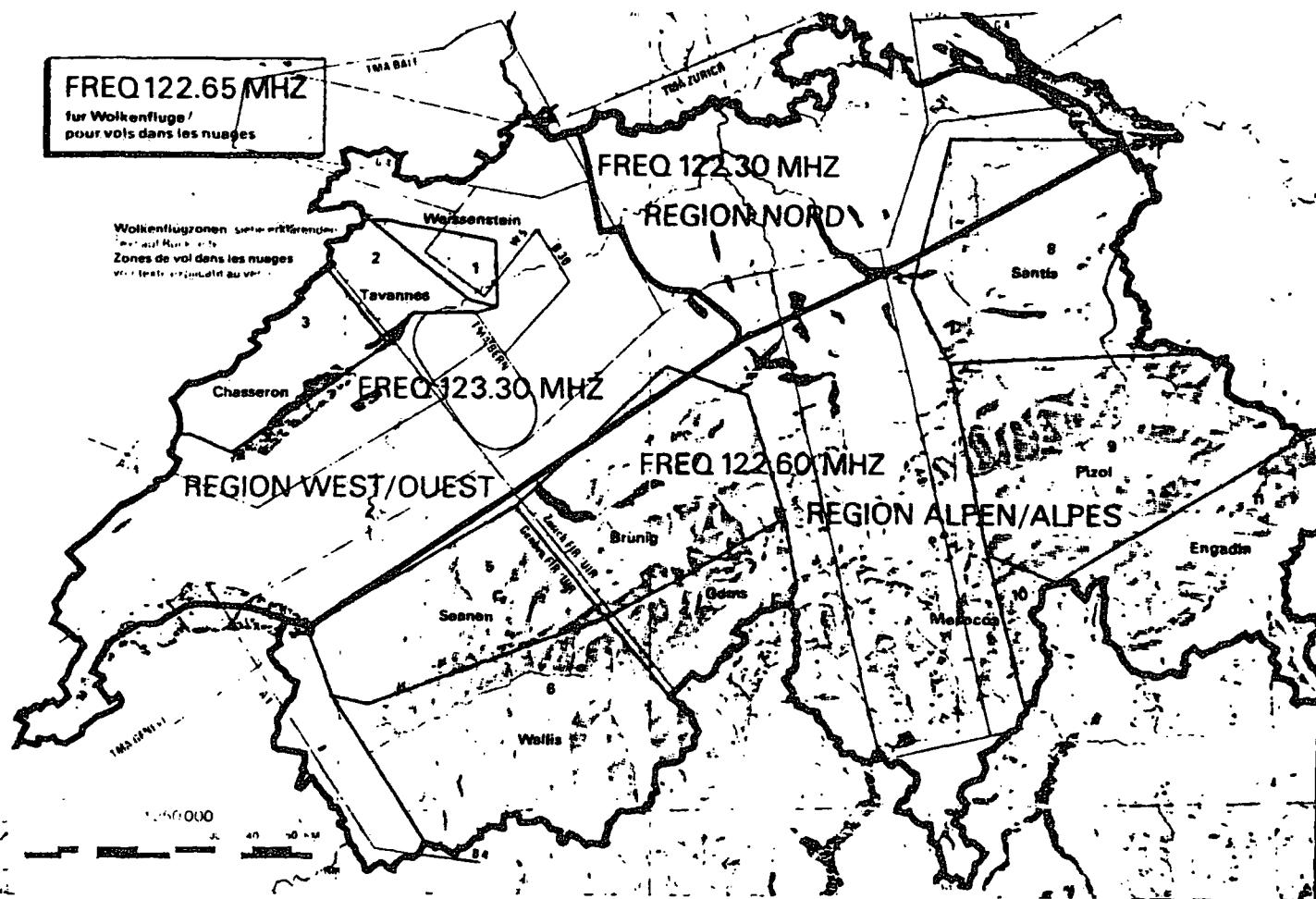
in unseren segelflugprognosen wird wolkenflug nur insofern berücksichtigt, als neben der wolkenbasis wenn möglich auch eine wolkenobergrenze angegeben wird. daraus kann dann der pilot selbst diemöglichkeiten für wolkenflug abschätzen. unsere thermikangaben beziehen sich aber immer auf aufwinde ausserhalb der wolken, da ja nicht alle piloten das blindflugbrevet besitzen und diemöglichkeiten für wolkenflug je nach flugroute sehr verschieden sind (siehe figur 1.1.3). bei segelflugmeisterschaften ist in der regel wolkenflug verboten.

figur 1.1 von segelflugzeugen benutzte aufwinde



figur 1.1.3

SEGELFLUG



RAC 6-1. APP 1

AIP SUISSE SWITZERLAND

SCHWEIZ

**SEGELFLUG**  
**WOLKENFLUGZONEN**

benutzbar gemäss Art. 86 - 90 der Verkehrsregeln

**Obergrenzen:**

Zone 1 Weissenstein: FL 95 / 2900 M MSL

alle übrigen Zonen: FL 190 / 5800 M MSL

Alle Flüge auf FL 200 und darüber bedürfen einer besonderen Bewilligung der zuständigen ACC.

**FREQ für Wolkenflüge: 122.65 MHz**

**VOL A VOILE**  
**ZONES DE VOL DANS LES NUAGES**

utilisables selon les articles 86 à 90 des règles de l'air

**Limites verticales:**

Zone 1 Weissenstein: FL 95 / 2900 M MSL

Toutes les autres zones: FL 190 / 5800 M MSL

Tous les vols au FL 200 et au-dessus sont soumis à une autorisation spéciale de l'ACC compétent.

**FREQ pour les vols dans les nuages: 122.65 MHz**

**Verzeichnis der Wolkenflugzonen (1:300000)**

1	Weissenstein	Welschenrohr - Gerlafingen - Grenchen - Doubs W St.Ursanne - Bassecourt - Welschenrohr
2	Tavannes	Doubs W St.Ursanne - Grenchen - Gerlafingen - Mühledorf - Büren a A - Biel - Ligerz - N Le Noirmont - entlang Schweizer Grenze / le long de la frontière suisse - Doubs W St.Ursanne
3	Chasseron	Ligerz - Yverdon - Ste Croix - W Ste Croix frontière suisse / Schweizer Grenze - le long de la frontière suisse / entlang Schweizer Grenze - N Le Noirmont - Ligerz
4	Brünig	Stockhorn - Wolhusen - Pilatus - Stanserhorn - Sustenhorn - Finsteraarhorn - Fafleralp - Stockhorn
5	Saanen	Stockhorn - Fafleralp - Grand Muveran - Flugplatz / Aérodrome de Bex - Montreux - Stockhorn
6	Wallis	Fafleralp - Monte Leone - entlang Schweizer Grenze / le long de la frontière suisse - Grand Combin - Flugplatz / Aérodrome de Bex - Grand Muveran - Fafleralp
7	Goms	Sustenhorn - Pizzo Rotondo - Passo San Giacomo - entlang Schweizer Grenze / le long de la frontière suisse - Monte Leone - Fafleralp - Finsteraarhorn - Sustenhorn
8	Säntis	Flugplatz / Aérodrome de Lommis - Arbon - entlang Schweizer Grenze / le long de la frontière suisse - Schesaplana - Klöntalersee - Wangen / Lachen - Flugplatz / Aérodrome de Lommis
9	Pizol	Schesaplana - Silvrettahorn - Splügenpass - Zervreilasee - Klöntalersee - Schesaplana
10	Mesocco	Zervreilasee - Splügenpass - Pizzo Paglia - Zervreilasee
11	Engadin	Silvrettahorn - entlang Schweizer Grenze / le long de la frontière suisse - Splügenpass - Silvrettahorn

**Liste des zones de vol dans les nuages (1:300000)**

#### 1.1.4 der strecken- oder überlandflug

sobald der pilot nach dem start eine höhe erreicht, die er als genügend erachtet, kann er einen streckenflug beginnen. der flug selbst besteht dann aus phasen mit langsamem sinken, unterbrochen von phasen mit höhen-gewinn, sobald der pilot in aufsteigende luft gelangt. die distanz, die zurückgelegt werden kann, hängt also von folgenden punkten ab:

- a) charakteristische eigenschaften des segelflugzeugs (siehe unter 1.2)
- b) aufwindstärke
- c) räumliche Verteilung der aufwindzonen
- d) windgeschwindigkeit auf der flughöhe
- e) erfahrung des piloten im finden und ausfliegen eines schlauches (= aufwindzone)

die am meisten beflogenen routen in der schweiz und den angrenzenden gebieten sind:

im jura südwestwärts bis col de la fauille, nordwärts bis in die gegend olten - aarau, ganzer schwarzwalD sowie schwäbische alb.

alpen:

die am meisten beflogene route ist schänis - zell a/see in österreich. von dieser standardstrecke, die etwas mehr als 500 km beträgt, werden viele varianten geflogen: entweder verlängerung richtung osten wie schänis - radstatt, schänis - trieben oder schänis - turnau in der steiermark, dann aber auch dreieckflüge unter einbezug des engadins, also z.b. mit wendepunkt pontresina. seltener werden flüge nur in den schweizer alpen gemacht wie schänis - gruyère oder schänis - st-croix.

bei einer reihe von streckenflügen sind einige markante stellen vorhanden, die als schwierig bekannt sind:

übergang vom jura zum schwarzwalD beim rhein (oft luftmassenunterschiede, basis- und mengenunterschiede).

übergang jura - voralpen im raum freiburg - waadtland: einerseits niedrigeres gelände, anderseits see-einfluss (genfersee, neuenburgersee).

übergang westliche schweizer alpen (berner alpen, walliseralpen) - östliche schweizer alpen (bündner alpen, glarneralpen): gotthardregion allgemein tiefere wolkenbasis als west- und ostwärts, in manchen fällen zwischen riederalp und rheinwaldhorn überhaupt keine cumuli vorhanden.

überquerung des rheintales im raum buchs - vaduz.

### 1.1.5 landung

für die landung ist es normalerweise nötig, den höhenverlust (sinken) zu erhöhen, ohne die geschwindigkeit wesentlich zu vergrössern. dies erfolgt bei segelflugzeugen durch flugbremsen, d.h. störklappen oder bremsschirme (bei standardflugzeugen meist nur durch bremsklappen). damit ist es möglich, auf einem feld von etwa 150 m länge sicher zu landen, sofern es windstill ist und im anflug keine hindernisse vorhanden sind.

### 1.1.6 bedeutung des segelfluges in der schweiz

in unserem lande waren 1976 etwa 630 segelflugzeuge immatrikuliert, die zum grösseren teil den segelfluggruppen gehören. vor allem spitzenspiloten besitzen zum teil auch eigene flugzeuge, vereinzelte werden sogar selbst gebaut.

(zum vergleich: die zahl der 1976 immatrikulierten motorflugzeuge betrug etwa 1 300, d.h. etwa das doppelte der zahl der segelflugzeuge.)

1976 besassen 2 261 piloten das segelflugbrevet, privatpilotenbrevets (motorflug ohne berufs- und linienpiloten) wurden 4 976 ausgestellt.

von 28 flughäfen oder flugfeldern aus erfolgten 1976 etwa 80 000 starts mit segelflugzeugen. im durchschnitt blieb ein flugzeug etwa 3/4 stunden in der luft (mittel aller flüge, also von schulungs- und streckenflügen). die gesamte flugdauer betrug fast 60 000 stunden.

### 1.1.7 segelflugplätze in der schweiz

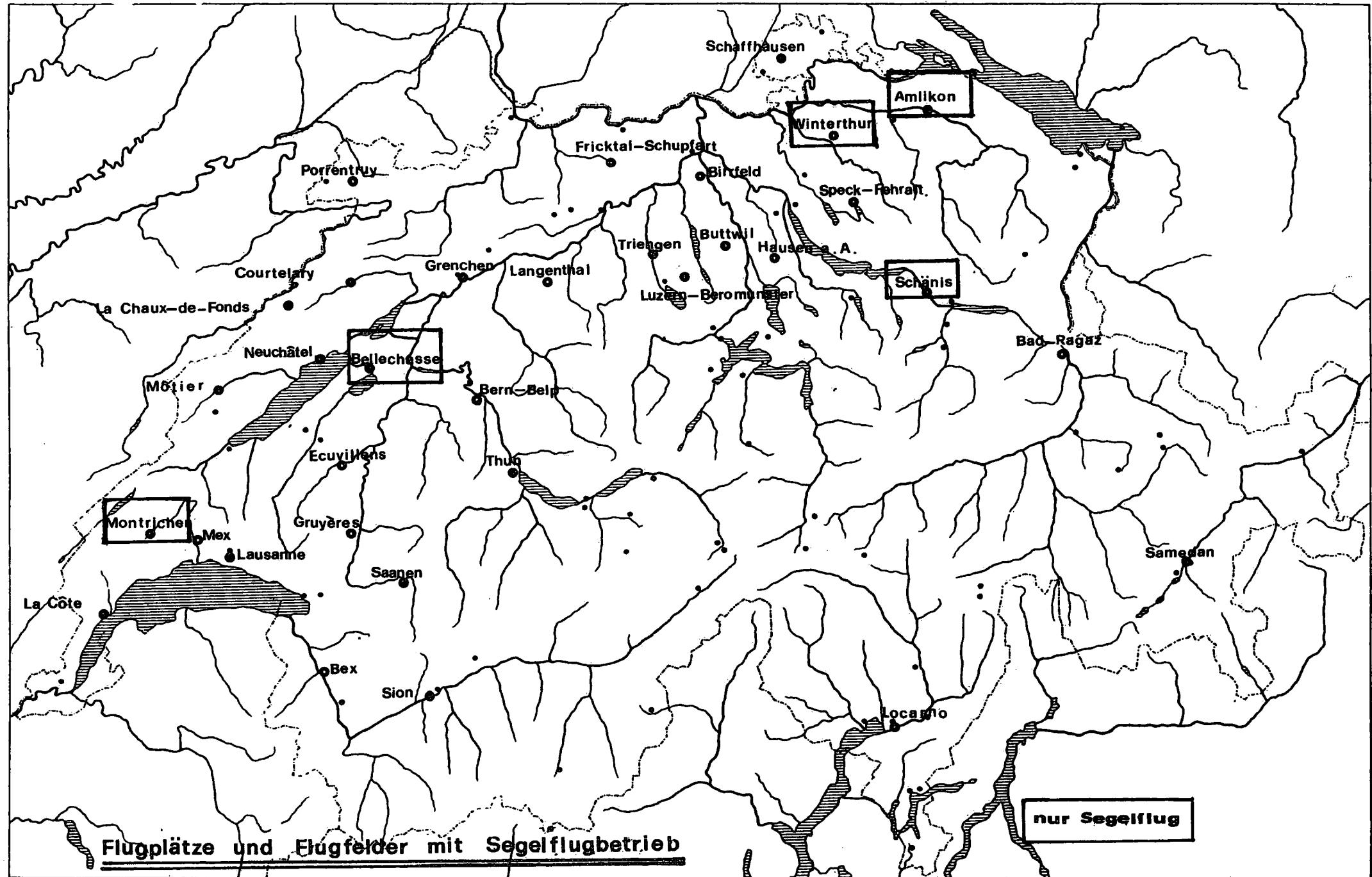
von den 28 flughäfen und flugfeldern (siehe figur 1.1.7) verzeichnen die folgenden die grösste anzahl von startbewegungen:

birrfeld	11 200	jurasüdfuss zwischen aarau und brugg
grenchen	10 300	jurasüdfuss
schänis	8 500	voralpental bei ziegelbrücke
amlikon	5 200	nordostschweiz bei weinfelden
montricher	4 100	jurasüdfuss, nordöstlich von bière
schmerlat	3 700	nordschweiz, bei schaffhausen

die mittlere flugdauer variierte von flugplatz zu flugplatz stark, sie betrug beispielsweise in birrfeld etwa 25 min., in schänis 52 min., in samaden beinahe 2 1/2 stunden. diese unterschiede sind auf zwei gründe zurückzuführen, einerseits auf die grössere anzahl von schulungsflügen im birrfeld, andererseits auf die längere flugdauer im voralpen - alpenraum (siehe auch kapitel 2.8).

für föhnwellenflüge werden vorwiegend ostschiwizer flugfelder benutzt (föhncentrum schänis). mehr und mehr wird aber auch von birrfeld, grenchen etc. mit schleppflugzeugen der gewünschte ort im raum ost-schweiz erreicht.

Fig 1.1.7



### 1.1.8 segelflugmeisterschaften

neben kleineren internen clubwettbewerben werden jährlich sogenannte "ral" organisiert (ral = regionale ausscheidungslager). diese regionalmeisterschaften werden von mehreren clubs zusammen organisiert und bestehen aus mindestens 3 gültigen konkurrenzen. normalerweise werden umkehr- und dreieckflüge vorgeschrieben, die in möglichst kurzer zeit absolviert werden müssen. falls kein pilot das ziel erreicht, wird die rangliste aufgrund der zurückgelegten strecke erstellt. es muss aber immer eine mindestdistanz von 50-60 km erreicht werden, damit eine konkurrenz gültig ist (grund: gleitwinkel der besten segelflugzeuge 1:50). die erstklassierten eines ral und die bestklassierten des sogenannten nationalen segelflugwettbewerbs (wertung einer bestimmten Anzahl frei wählbarer Distanzflüge, die an beliebigen tagen absolviert werden können) sind für das "tal" (tal = trainings- und ausscheidungslager), d.h. die schweizermeisterschaften qualifiziert, zusätzlich auch noch die erstklassierten des tal des vorjahres. das tal dauert 10 tage, es müssen mindestens 5 gültige wertungen vorliegen, damit der schweizermeistertitel vergeben werden kann. auch beim tal werden heute praktisch nur noch umkehr- und dreieckflüge vorgeschrieben, wobei ebenfalls eine mindestdistanz von 60 km erreicht werden muss.

## 1.2 eigenschaften und flugleistungen von segelflugzeugen

### 1.2.1 eigenschaften

die mehrzahl der segelflugzeuge sind einsitzer mit flügelspannweiten zwischen 15 und 22 metern.

gewicht bei 22 m-spannweite	350 kg leer	500 kg vollbeladen
15 m-spannweite	210 kg leer	350 kg vollbeladen

bester gleitwinkel

22 m-spannweite 1:50 bei 95 km/h, d.h. wenn ein pilot mit einer Geschwindigkeit von 95 km/h fliegt, kann er mit 1 km Höhe über grund noch 50 km weit fliegen, bis er landen muss (ohne zusätzliche auf- oder abwinde)

15 m-spannweite 1:38 bei 85 km/h

15 m-trainingsdoppelsitzer 1:27 bei 75 km/h

geringstes sinken zwischen 0.5 und 0.8 m/s

minimalgeschwindigkeit	trainingsflugzeug	55 km/h
	hochleistungsflugzeug	65 km/h

### 1.2.2 flugleistungen

#### segelflugweltrekorde

absolute höhe	14 102 m	in wellen der rocky mountains
distanzflug	1 460,8 m	lübeck - biarritz, thermik, ne-wind
umkehrflug	1 260,4 km	usa, teils mit thermik, teils in wellen
dreieckflug	1 040 km	

#### geschwindigkeitsrekorde dreieckflüge

100 km-dreieck	165,3 km/h
300 km-dreieck	153,4 km/h
500 km-dreieck	135,3 km/h
700 km-dreieck	123,0 km/h

dauerrekorde werden keine mehr geführt, der letzte, noch gültige lag bei 56 h 15 min.

#### hier die entsprechenden schweizerrekorde

streckenflug	698,5 m	marfa (texas)-tucson
zielflug	567,0 km	schmerlat - tulln bei wien
umkehrflug	812,0 km	schänis - trieben - schänis
100 km-dreieck	120,3 km/h	rieti (italien)
300 km-dreieck	108,2 km/h	angers (südfrankreich)
500 km-dreieck	102,9 km/h	waikerie (usa)
absolute höhe	10 962 m	baragwanath (südafrika)
überhöhung	9 935 m	bad ragaz

### 1.3 wetterfaktoren, die für den segelflug wichtig sind

#### 1.3.1 bodenwind

wenn der bodenwind (böen) die minimalgeschwindigkeit eines segelflugzeugs übersteigt, werden bodenbewegungen, starts und landungen gefährlich. ein leeres, am boden abgestelltes flugzeug kann bereits bei weniger starken böen umgestürzt werden.

die ideale stärke des bodenwindes für segelflüge beträgt etwa 5 - 10 kt.

eine untersuchung der windstärken von payerne und kloten von 12 und 15z ergab für die 22 tage mit guten segelflugverhältnissen im jura folgendes:  
von 44 angaben (12+15z) lagen für

payerne 43 (97 %) zwischen 0 und 9 kt  
1 ( 3 %) bei 10 kt

für kloten 34 (77 %) zwischen 0 und 9 kt  
10 (23 %) zwischen 10 und 14 kt

mittel aller 44 werte payerne 4,5 kt  
kloten 7,5 kt  
höchstwerte payerne 10 kt  
kloten 14 kt

bei ebenfalls 22 tagen mit mässigen verhältnissen ergab sich folgendes:  
von 44 angaben (12+15z)

payerne 38 (86 %) zwischen 0 und 9 kt  
6 (14 %) über 10 kt

kloten 22 (50 %) zwischen 0 und 9 kt  
22 (50 %) über 10 kt

mittel aller 44 werte payerne 6 kt  
kloten 9,5 kt

dies zeigt, wie wichtig die stärke des bodenwindes für den segelflieger, der streckenflüge absolvieren möchte, ist. für lange flüge ist es unerlässlich, dass der bodenwind, resp. der wind in den unteren luftschichten schwach ist (siehe auch 1.3.2 wind la dôle), da sonst auf dem teilstück mit gegenwind zu viel zeit aufgewendet werden muss. dieses wetterelement ist deshalb geeignet, bereits eine erste grobe einteilung in mässige und gute lagen vorzunehmen.

### 1.3.2 höhenwind

normalerweise möchte der pilot wieder zu seinem startplatz zurückkehren. starke winde machen nun aber umkehrflüge schwierig, ausgenommen beim ausfliegen von wellen entlang einem gebirge sowie bei wolkenstrassen. streckenflüge, die mit thermik absolviert werden, sind schwierig, wenn der höhenwind 850-700 mbar 25 kt übersteigt. die meisten dreieckflüge von 300 km oder mehr finden bei windstärken von weniger als 15 kt statt. für zielflüge mit rückenwind sind diese limiten nicht gültig, doch können auch hier die verhältnisse bei starken winden schwierig werden, da durch die turbulenz in den bodennahen schichten die thermik sehr zerrissen ist.

eine prüfung dieser aussage ergab:

windstärke payerne 500 mbar 00 und 12z

das mittel lag sowohl bei den mässigen wie auch den guten lagen bei 17-18 kt.

an 43 tagen mit mässigen und guten verhältnissen waren um 00z

6 tage mit 0-10 kt  
18 tage mit 11-20 kt  
19 tage mit über 21 kt zu verzeichnen.

zwischen 00 und 12z konnten keine signifikanten unterschiede festgestellt werden, eine leichte tendenz zur abnahme der stärke von 00 auf 12z scheint etwas häufiger als eine zunahme.

die unterteilung nach windrichtungen ergab:

22 gute lagen 12z	13	nw
	6	ne
	2	sw
	1	se
22 mässige lagen 12z	3	nw
	9	ne
	5	sw
	5	se

d.h., dass für gute lagen eine nw-ne-strömung im 500 mbar-niveau vielversprechend ist. bei den mässigen lagen waren die windrichtungen gleichmässig auf alle sektoren verteilt mit einer betonung auf dem ne-sektor.

es ist vernünftig, dass zwischen mässigen und guten lagen in der windstärke kein signifikanter unterschied zu finden ist, da der wert auf 500 mbar die strömung grossräumig charakterisiert und nur indirekt auf die verhältnisse in der konvektionsschicht wirkt.

die verhältnisse in der konvektionsschicht wurden anhand der windmessungen der station la dôle untersucht.

22 gute tage 12z	21 fälle (95 %)	0-10 kt
	1 fall (5 %)	über 10 kt
	mittel 4,4 kt	
	max. wert 12 kt	
22 mässige tage 12 z	16 fälle (73 %)	0-10 kt
	6 fälle (27 %)	über 10 kt
	mittel 8,0 kt	
	max. wert 20 kt	

dies zeigt, wie wichtig die windstärke für längere flüge ist.  
bei guten lagen ist also die windstärke la dôle nur sehr selten mehr als 10 kt.

die werte von 06z, d.h. aktuelle werte, die zum zeitpunkt, an dem die segelflugprognose ausgearbeitet wird, vorhanden sind, bringen den unterschied zwischen mässigen und guten lagen ebenfalls zur geltung.

22 gute tage	06z	17 fälle (77 %)	0-10 kt
		3 fälle (14 %)	11-15 kt
		2 fälle ( 9 %)	16-25 kt
		mittel 6,6 kt	
		max. wert 25 kt	
mässige lagen	06z	12 fälle (55 %)	0-10 kt
		4 fälle (18 %)	11-15 kt
		6 fälle (27 %)	16-33 kt
		mittel 12,3 kt	
		max. wert 33 kt	

bei den 06z-winden ist allgemein die windstärke etwas grösser als um 12z, dies zum teil wegen der durch die konvektion noch nicht abgebremsten horizontalen windkomponente.

### 1.3.3 sicht

absolute minima sind die gleichen wie bei motorflugzeugen, die nach sichtflugbedingungen fliegen. in der praxis aber sollte die sicht im minimum 10 km, im normalfall 20 km betragen. bei dunstigem wetter ist die sicht oft am boden sowie in der nähe der inversion am schlechtesten.

diese werte lassen sich auch bei uns verwenden.  
die 22 tage mit guten verhältnissen ergaben:

sicht 12z	payerne	kloten	la dôle
unter 8 km	1 ( 5 %)	0	0
8-12 km	8 (36 %)	1 ( 4 %)	2 ( 9 %)
13-20 km	6 (27 %)	7 (32 %)	6 (27 %)
über 20 km	7 (32 %)	14 (64 %)	14 (64 %)

die 22 werte von mässigen tagen zeigen ähnliche resultate, was vernünftig ist, da generell für einigermassen gute aussichten für segelflug eine luftmasse polaren ursprungs wichtig ist. deshalb ist die sicht ein guter hinweis darauf, ob überhaupt aussichten für segelflug vorhanden sind.

### 1.3.4 wolkenbasis

falls vom flugplatz nichts anderes vorgeschrieben ist, sind folgende grenzen zu empfehlen:

bis 300 m segelflugzeuge können schulungsflüge, starts und landungen absolvieren

bis 600 m minimalhöhe für streckenflüge  
1000 m genügend für streckenflüge  
1500 m und höher günstig für alle arten von flügen, insbesondere auch für konkurrenzen mit rangierung nach geschwindigkeit.

#### 1.3.5 wolkenmenge und thermikflüge

a) mittlere und hohe wolken vermindern die einstrahlung, die stärke der thermik ist daher geringer. wenn die tiefen schichten genügend instabil sind, wird dünner cirrostratus die thermikentwicklung nicht unterdrücken, altostratus hingegen beendet normalerweise alle thermischen aktivitäten.

b) tiefe wolken (cumuliform)

keine cumuli: bei piloten nicht beliebt, weil dann keine sichtbaren zeichen für orte mit thermik vorhanden sind. mit trockenthermik (keine cu) sind aber flüge bis 300 km möglich (oft auch blauthermik genannt).

1-3 achtel cu: ideal. einstrahlung wenig behindert. deshalb unter den meisten wolken aufwinde.

4-6 achtel cu: bereits merkliche reduktion der einstrahlung. nur noch unter einem teil der wolken nutzbarer aufwind vorhanden (ausnahme wolkenstrassen).

7-8 achtel cu: nur noch geringe einstrahlung. im allgemeinen so wenig aufwindgebiete vorhanden, dass sich die meisten segelflugzeuge nicht mehr in der luft halten können und landen müssen.

wichtig ist, dass besonders auch die vormittägliche einstrahlung möglichst ungehindert abläuft. deshalb ist es nicht verwunderlich, dass auf la dôle um 06z folgende bewölkungsverhältnisse beobachtet wurden (totalbewölkung):

gute lagen 22 fälle davon 16 (73 %) mit 0-1/8  
6 (27 %) mit 2-3/8

mäßige lagen 22 fälle 6 (27 %) mit 0-1/8  
13 (59 %) mit 2-4/8  
3 (14 %) mit 5-8/8

der bewölkungsgrad am morgen ist also ein guter hinweis auf die weitere entwicklung im verlaufe des tages.

### 1.3.6 cumulusgrösse und -verteilung

über flachem gebiet hängt die verteilung im wesentlichen von der grösse der wolke ab.

kleine cu (bis 1000 m hoch) meist gleichmässig verteilt, sind ideal für segelflug.

grosse cu bilden sich oft aus einer gruppe kleiner cu. der abstand zwischen grossen cu ist grösser, deshalb müssen die segelflieger höher steigen, um das wolkenfreie gebiet bis zur nächsten wolke zu überwinden.

cumulonimben sind ungünstig, besonders wenn sie in linien angeordnet sind. sie können für segelflieger eine undurchfliegbare barriere darstellen. bereits cb-schirme können wegen ihrer thermikdämpfenden wirkung den weiterflug stark erschweren oder dort, wo wenig ausweichmöglichkeiten bestehen (alpentäler, einschränkungen der flugsicherung), sogar beenden.

### 1.4 bedingungen, die den thermik-segelflug einschränken oder verhindern

#### 1.4.1 kein sonnenschein

wenn die sonne durch cirrostratus abgedeckt ist, wird die stärke der thermik reduziert. dicker cirrostratus oder altostratus bringt die thermische entwicklung praktisch zum erliegen.

nach auskunft von segelfliegern ist noch 1-2 stunden, nachdem die sonne durch dichte cirren oder cirrostratus abgedeckt worden ist, mit thermik zu rechnen. diese schwächt sich zwar ab, ist aber örtlich noch vorhanden und zwar besonders dann, wenn der cirrenaufzug erst am nachmittag erfolgt, also nach erfolgter aufheizung. wenn aber gegen mittag ein solcher aufzug die sonne abdeckt, wird die thermik viel rascher zu ende gehen, da die sich langsam erwärmenden thermikquellen noch nicht oder nur zum teil aufgeheizt sind.

#### 1.4.2 grosse konvektive wolken

sie verunmöglichen es dem piloten oft, auf dem vorgesehenen kurs zu bleiben. schauer oder gewitter können den piloten zur landung zwingen.

bei grossen cu ist meist auch die basis tiefer als bei kleinen cu, so dass die möglichkeit, die nächste wolke zu erreichen, zum teil eingeschränkt sein kann.

#### 1.4.3 wolkenausbreitungen

falls eine markante stabile schicht oder eine inversion vorhanden ist, die zudem auch feucht ist, können sich die vorhandenen cumuli an dieser schicht ausbreiten. sie bilden dann je nach Höhe eine sc- oder ac-schicht, die die einstrahlung so stark behindern kann, dass die thermik teilweise oder auch ganz aufhört.

#### 1.4.4 eindringen einer dünnen kaltluftschicht

wenn eine dünne, kühle und stabile luftmasse vom meer oder einem grossen see landeinwärts vorstösst, wird die thermische aktivität stark reduziert.

dieser punkt ist für die allgemeine segelflugprognose nicht von bedeutung. für segelflugkonkurrenzen sowie für individuelle beratung muss er dagegen berücksichtigt werden.

aus eigener erfahrung ist bekannt, dass z.b. vom bodensee der einfluss bis ins toggenburg markant spürbar sein kann, ebenso ist natürlich der einfluss des genfersees und des neuenburgersees zu berücksichtigen. im übrigen kann auch aus der wolkenbasis auf seeeinfluss geschlossen werden. so ist im raum thunersee - brienzsee die wolkenbasis oft 300-500 m tiefer als beispielsweise auf der gegen das mittelland gerichteten bergseite (brienz rothorn).

#### 1.4.5 advektion von warmluft in der Höhe oder subsidenz

advektion von warmluft in 1000-2000 m Höhe über grund, respektive subsidenz hat folgende drei effekte:

- a) thermik lässt nach
- b) thermik reicht weniger hoch
- c) thermik geht am nachmittag früher zu ende

#### 1.4.6 niederschlag

nasser boden bedeutet, dass ein grosser teil der einfallenden sonnenenergie für den verdunstungsprozess benötigt wird. deshalb erwärmt sich der boden langsamer. wenn in der nacht verbreitet niederschläge fallen, wird sich thermik also später entwickeln als bei trockenem boden. falls tagsüber starke schauer oder gewitter auftreten, wird es dort, wo der boden durchnässt wurde, lange dauern, bis sich erneut thermik entwickelt.

die niederschlagsverhältnisse im jura ergaben folgendes bild:

22 gute lagen	nachts (18-06)	kein regen	22 fälle
	vortag (06-18)	kein regen	20 fälle
		regen	2 fälle
	und zwar	1 x örtlich	
		1 x verbreitet	

für 44 mässige und gute lagen wurde beobachtet

	nachts (18-06)	kein regen	42 fälle
		regen	2 fälle
	vortag (06-18)	kein regen	40 fälle
		regen	4 fälle

zum vergleich für den gesamten zeitraum april-august 1976 (152 tage)

	nachts (18-06)	kein regen	102 fälle
		regen	50 fälle
	vortag (06-18)	kein regen	80 fälle
		regen	72 fälle

daraus lässt sich ableiten:

wenn eine prognose "mässige bis gute segelflugverhältnisse" ausgegeben wird, sollte in der nacht zuvor kein regen und am vortag kein oder höchstens örtlich niederschlag aufgetreten sein, oder umgekehrt, nach verbreiteten niederschlag am vortag und erst recht in der nacht ist am folgetag mässiges bis gutes segelflugwetter unwahrscheinlich.

## 1.5 gefährliche erscheinungen für den segelflug

### 1.5.1 orographisch bedingte turbulenz

besonders in gebieten, wo leewellen auftreten, wird das hochschleppen der segelflugzeuge schwierig. unter umständen können die flugzeuge sogar beschädigt werden.

### 1.5.2 gewitter

sie verursachen sehr starke auf- und abwinde, das hagelrisiko ist gross, segelflugzeuge werden nämlich durch hagel sehr stark beschädigt. auch blitze können für den piloten gefährlich werden (ausgenommen in metallflugzeugen). Böen mit markanten windrichtungsänderungen machen die landung schwierig.

### 1.5.3 niederschlag

vor allem fiberglasflugzeuge haben, wenn sie nass sind, einen bedeutend schlechteren gleitwinkel als in trockenem zustand.

#### 1.5.4 sich schliessende wolkendecke

wenn segelflieger in wellen grosse höhen erreichen, können sie in schwierigkeiten geraten, wenn sich unter ihnen die wolken zu einer geschlossenen decke zusammenschliessen.

#### 2. thermikvorhersage

durch die sonneneinstrahlung wird der boden erwärmt, dadurch werden konvektionsvorgänge ausgelöst, luftpakete beginnen aufzusteigen, bis sie eine stabile schicht erreichen, siehe figur 2.

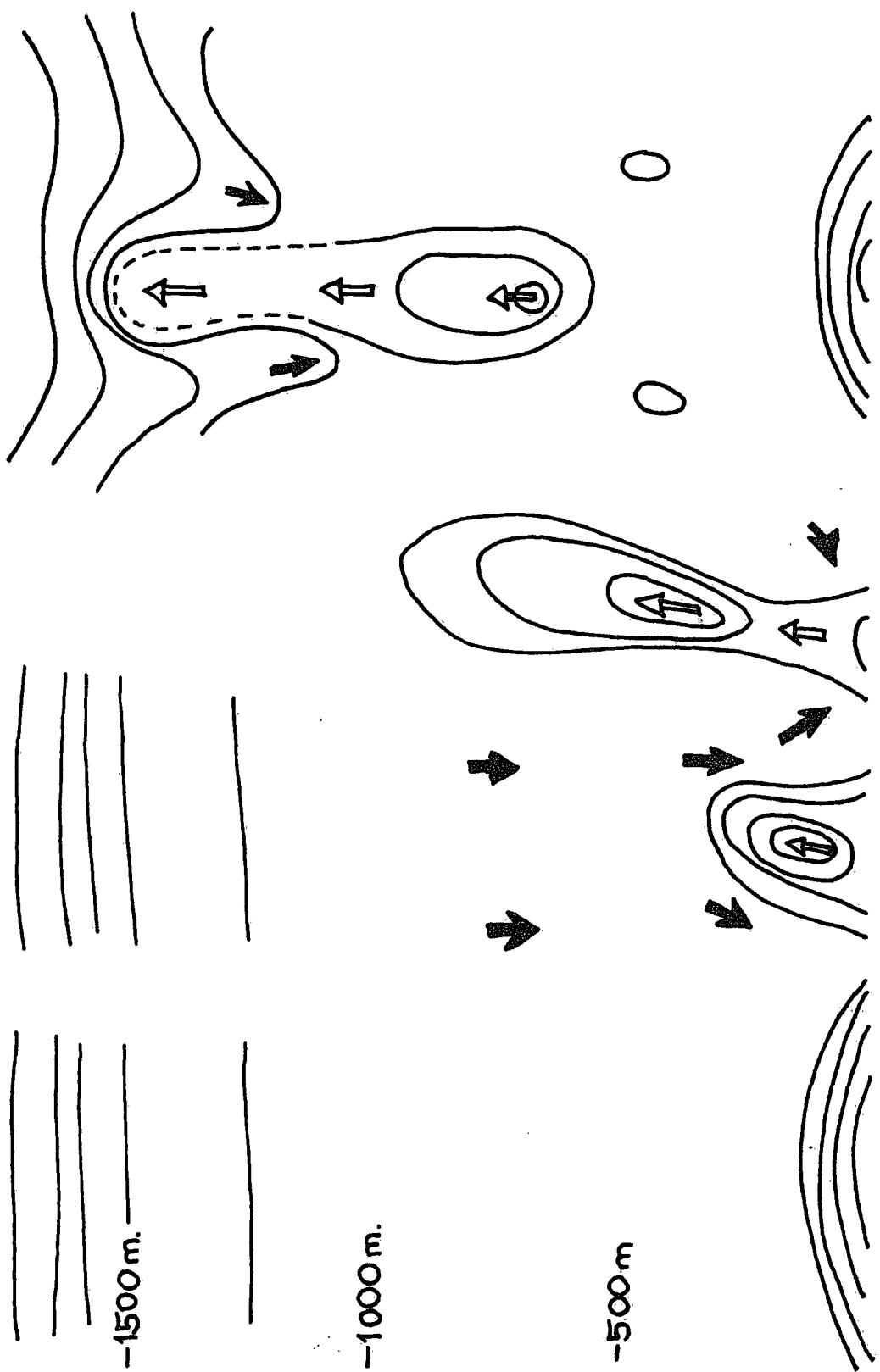
die "thermikblasen" (in fliegerkreisen thermik, schlüche, bärte etc. genannt) oder thermiksäulen, sind so gross, dass ein segelflugzeug innerhalb einer solchen zone kreise fliegen kann und damit an Höhe gewinnt, sofern die vertikalgeschwindigkeit der luft grösser ist als die sinkgeschwindigkeit des segelflugzeuges. der segelflieger möchte nun wissen, wann die thermik einsetzt, wie lange sie anhält, bis auf welche Höhe und in welcher gegend thermik zu erwarten ist und wie stark sie sein wird.

um diese fragen zu beantworten, muss der prognostiker zunächst eine repräsentative radiosonde auswählen und analysieren sowie alle änderungen berücksichtigen, die die sonneneinstrahlung auf dieser radiosonde verursacht. folgendes vorgehen hat sich bewährt:

- a) auswahl des sondenaufstiegs
- b) bestimmung der zu erwartenden sonneneinstrahlung
- c) bestimmung des taupunktes
- d) berücksichtigung des einflusses der vegetation und des feuchtigkeitsgehalts des bodens
- e) berücksichtigung von kleinräumigen entwicklungen wie konvergenzlinien, seebrise etc.
- f) berücksichtigung von besonderen anordnungen der konvektion, verursacht durch das vertikalprofil des windes (wolkenstrassen).

figur 2

ablösung einer thermikblase vom boden und ihr eindringen in eine stabile schicht oder inversion  
die linien bedeuten potentielle temperaturen



2.1 prognose von beginn und dauer der thermik

2.1.1 auswahl der radiosonden

nach der analyse der 850, 700 und 500 mbar-karten und unter berücksichtigung der verfügbaren prognosenkarten ist eine repräsentative radiosonde auszuwählen. unter umständen muss zwischen 2 oder gar 3 sonden interpoliert werden.

in der schweiz ist dieses problem aus orographischen gründen noch schwieriger. für jura-/schwarzwaldflüge ist oft eine andere sonde repräsentativ als für die alpen, um so mehr als sich unsere blicke ja auch auf die österreichischen alpen richten müssen, da ein grosser teil der alpenflüge in diese richtung stattfindet. für den raum jura - schwarzwalld ist oft eine interpolation payerne - stuttgart nötig, für alpenflüge bei nördlichen winden dagegen eher stuttgart - münchen.

2.1.2 bestimmung der zu erwartenden sonneneinstrahlung und der maximaltemperatur

zunächst sind die prognosenkarten zu prüfen (500 mbar, boden), falls möglich, sind darauf die wichtigsten zonen mit schichtbewölkung zu skizzieren. daraus, wie natürlich auch aus der extrapolation der bewölkungsverhältnisse des vortages, ist das sonnenscheintotal abzuschätzen.

wenn nun für den ersten teil des tages keine oder nur wenige wolken zu erwarten sind, kann die tabelle mit der maximal möglichen energie verwendet werden, unter berücksichtigung der jahreszeitlichen unterschiede.

die methode wird bei uns bereits seit Jahren mit gutem erfolg angewendet, so dass auf eine nochmalige, genaue erklärung verzichtet wird.

immerhin sind folgende, vielleicht nicht mehr allgemein bekannte punkte zu beachten:

die tabelle beruht auf der annahme, dass eine gewisse menge der verfügbaren energie zur verdunstung und assimilation verwendet wird (europäische verhältnisse). die tabelle ist aber nur beschränkt gültig bei sehr nassem boden und in gebirgigen gegenden. bei sehr trockenem boden ist sie ebenfalls leicht zu modifizieren (siehe trockenperiode sommer 1976, wo die tagesamplitude 2-3 grad grösser war als bei normalen verhältnissen). durch cumulusbewölkung von weniger als 4/8 wird die zur verfügung stehende energie nicht wesentlich reduziert. da sich an sonnigen und windschwachen tagen über dem boden normalerweise eine superadiabatische schicht einstellt, ist die gemessene maximaltemperatur oft 1-2 grad höher als der berechnete wert.

### 2.1.3 andere methoden zur voraussage der maximaltemperatur

1000-500 mbar schichtdicke (courvoisier 1965)

korrelation rel. top 500-1000 mbar-temperaturmaximum zürich-kloten

rel. top	538-540	542-544	546-548	550-552	554-556
$t_{max}$	10	12-13	15	17-18	20

558-560	562-564	566-567	569-571	573	575-577
22-23	25	27-28	30	33	35

temperaturmaximum bei advekionsfreien strahlungstagen im sommer auf dem flughafen kloten

$$t_{max} = \frac{0220z\text{-temperatur kloten} + \frac{850\text{mbar-temp. payerne} + 850\text{mbar temp. Stuttg.}}{2}}{2}$$

um die temperatur für einen bestimmten zeitpunkt vorauszusagen, existiert eine temperaturkurve, die aufgrund der zur verfüzung stehenden maximalen aufheizenergie errechnet wurde, ferner eine statistik kloten, die für jeweils 3 stunden die temperaturänderung enthält unter berücksichtigung von wind und bewölkung.

### 2.2 sonneneinstrahlung und entwicklung von cumuli

#### 2.2.1 bestimmung des taupunktes respektive taupunktsänderungen

das kondensationsniveau hängt im wesentlichen ab von der am boden vorhandenen differenz zwischen temperatur und taupunkt. der prognostiker muss daher die voraussichtlichen taupunktsänderungen während des tages bestimmen.

zwei punkte sind zu prüfen:

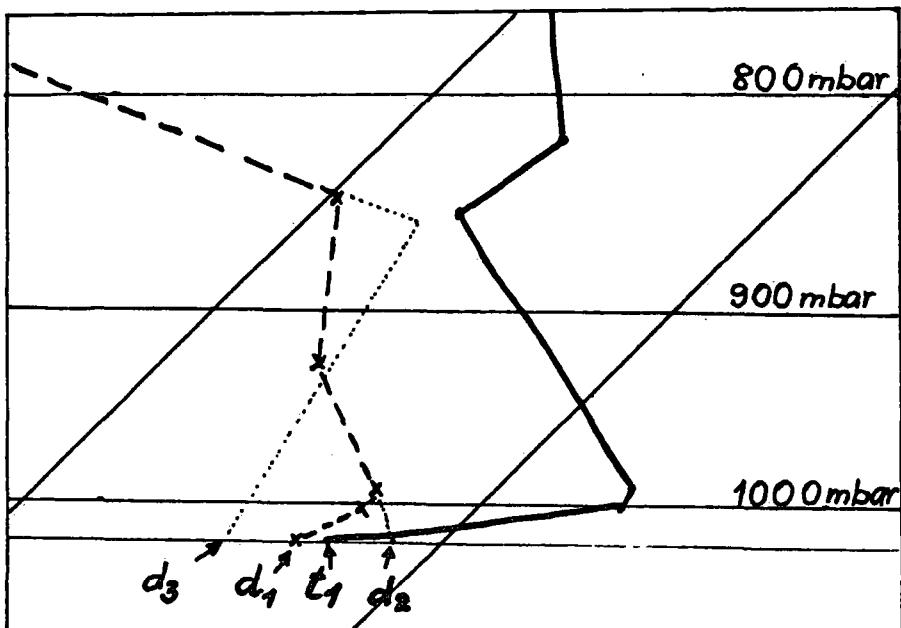
a) advektive änderungen

hier sind die potentiellen feuchttemperaturen des 850 mbar-niveaus sehr nützlich, ferner natürlich die extrapolation der taupunkte im advektionsgebiet.

b) vertikale feuchtigkeitsverteilung

in den ersten stunden nach sonnenaufgang steigt der taupunkt normalerweise an, weil tau verdunstet und auch durch die pflanzen feuchtigkeit an die umgebung abgegeben wird. sobald nun durch die einsetzende konvektion mischung stattfindet, tendiert der bodentaupunkt gegen den mittleren wert des mischungsverhältnisses der konvektionsschicht (siehe figur 2.2a).

figur 2.2a



taupunktsänderung während des tages

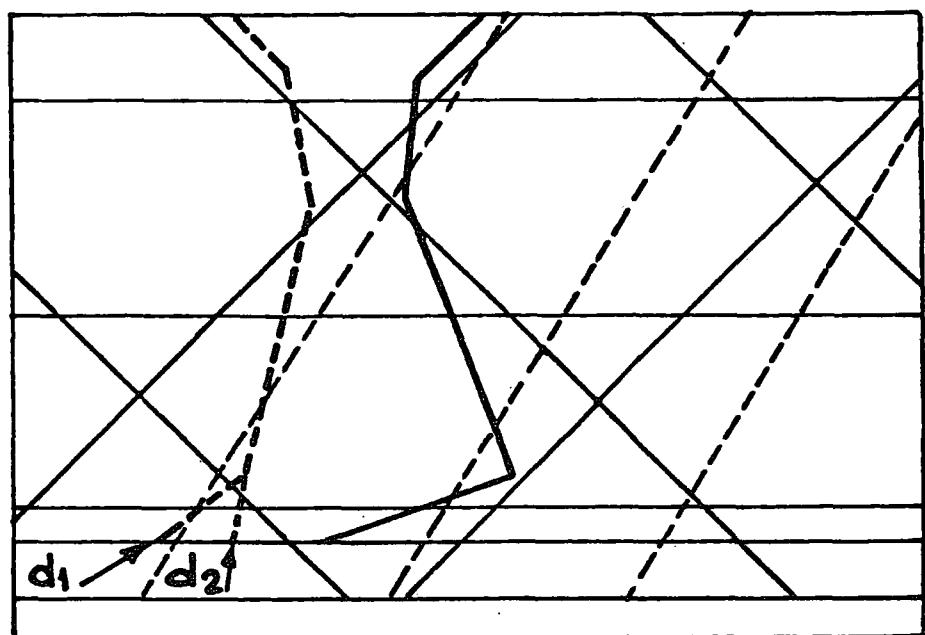
ausgezogene linie: temperatur bei tagesanbruch  
gestrichelte linie: taupunkt

bei tagesanbruch: inversion vom boden bis etwa 1000 mbar  
 $t_1$  minimumtemperatur,  $d_1$  taupunkt zur selben zeit, d.h.  
temperatur und taupunkt sind nahe beieinander  
 $d_2$  ist die temperatur, die der taupunkt in den ersten  
stunden der aufheizung erreicht. dieser wert wird gefun-  
den, indem die taupunktskurve über der grundsicht bis  
zum boden extrapoliert wird. wenn nun die konvektion be-  
ginnt, erfolgt innerhalb der konvektionssicht durch-  
mischung und der taupunkt sinkt.  $d_3$  ist der minimumtau-  
punkt, wie er oft zur zeit der maximalen erwärmung auf-  
tritt. er entspricht einem mittleren taupunkt innerhalb  
der konvektionssicht.  $d_3$  wird durch die linie des kon-  
stanten mischungsverhältnisses gefunden, die das taupunkts-  
profil in zwei gleich grosse flächen schneidet.

zwei beispiele zeigen verschiedene situationen:

- a) konstantes mischungsverhältnis in der ganzen konvektionsschicht  
in diesem falle sind keine grossen änderungen des taupunktes zu erwarten.

figur 2.2b



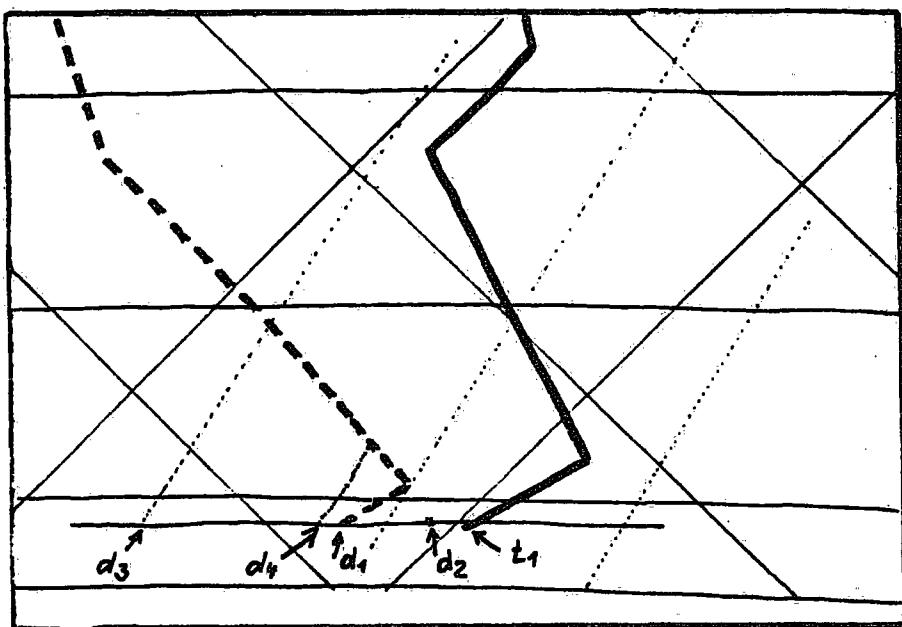
taupunktsverlauf nahe der linie des konstanten  
mischungsverhältnisses

- $d_1$  taupunkt bei sonnenaufgang sowie erneut mitte  
nachmittag
- $d_2$  taupunkt 2 bis 3 stunden nach sonnenaufgang

b) wenn der taupunkt mit der Höhe abnimmt, beginnt der taupunkt am boden zu fallen, sobald die konvektion einsetzt. wenn der boden sehr trocken ist, kann der taupunkt am boden bis zum mittelwert des mischungsverhältnisses der ganzen konvektionsschicht sinken (siehe figur 2.2c).

normalerweise wird für das flachland etwa ein mittel der untersten 500 meter beobachtet.

figur 2.2c



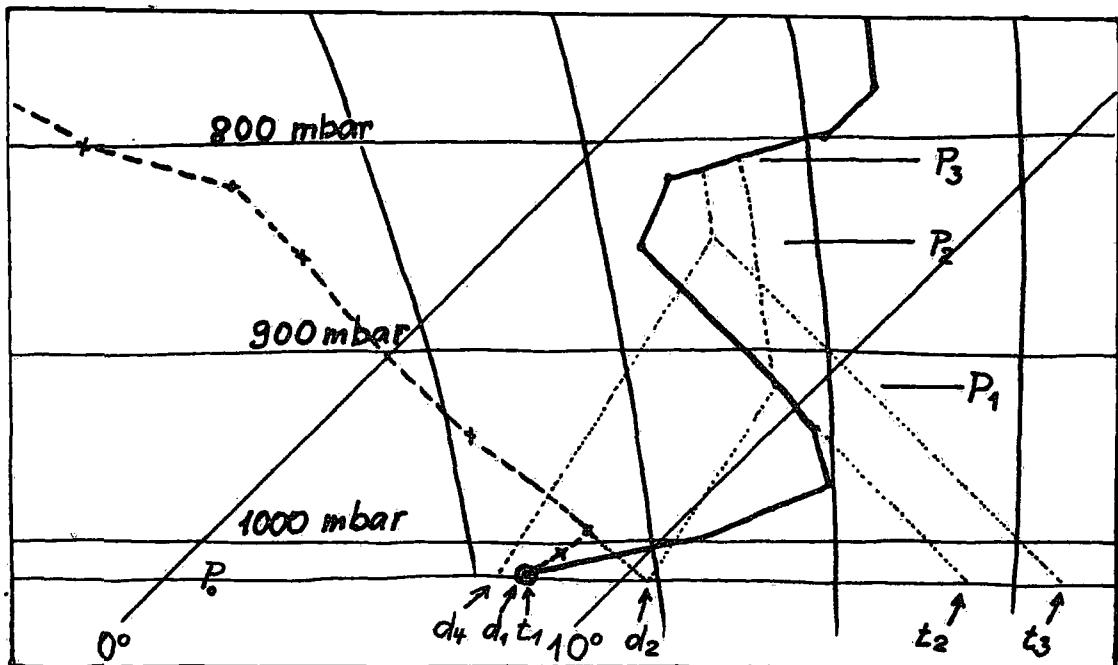
markant abnehmender taupunkt innerhalb der konvektionsschicht

- t<sub>1</sub> temperatur bei sonnenaufgang
- d<sub>1</sub> taupunkt bei sonnenaufgang
- d<sub>2</sub> taupunkt 2-3 stunden nach sonnenaufgang
- d<sub>3</sub> geschätzter taupunkt mitte nachmittag für sehr trockenen boden (extrapolation des taupunktes in der mitte der konvektionsschicht bis zum boden, der linie des konstanten mischungsverhältnisses folgend)
- d<sub>4</sub> geschätzter taupunkt mitte nachmittag (mittel der untersten 500 meter )

## 2.2.2 inversion und cumulusvorhersage

ein Beispiel zeigt die Änderungen der Temperatur und des Taupunktes während eines Tages und die dadurch verursachten Änderungen in der Höhe der Cumulusbasis, siehe Figur 2.2d.

Figur 2.2d Cumuli unter einer Inversion



$t_1$  und  $d_1$  Temperatur und Taupunkt bei Tagesanbruch

$d_2$  Taupunkt etwa um 0930 h

$d_4$  Taupunkt am Nachmittag am Boden (Taupunktsmittel der untersten 500 m)

$t_2$  Temperatur etwa um 0930 h, wenn sich die ersten Cumuli bilden

$t_3$  Maximumtemperatur Mitte Nachmittag

$t_2$  und  $t_3$  aus Temperaturkurven mit maximal möglicher Einstrahlung

$d_2$  Extrapolation der Taupunktcurve oberhalb der Inversion bis zum Boden

$P_1$  Basis der ersten Cumuli

$P_2$  Basis der Cumuli zur Zeit des Temperaturmaximums

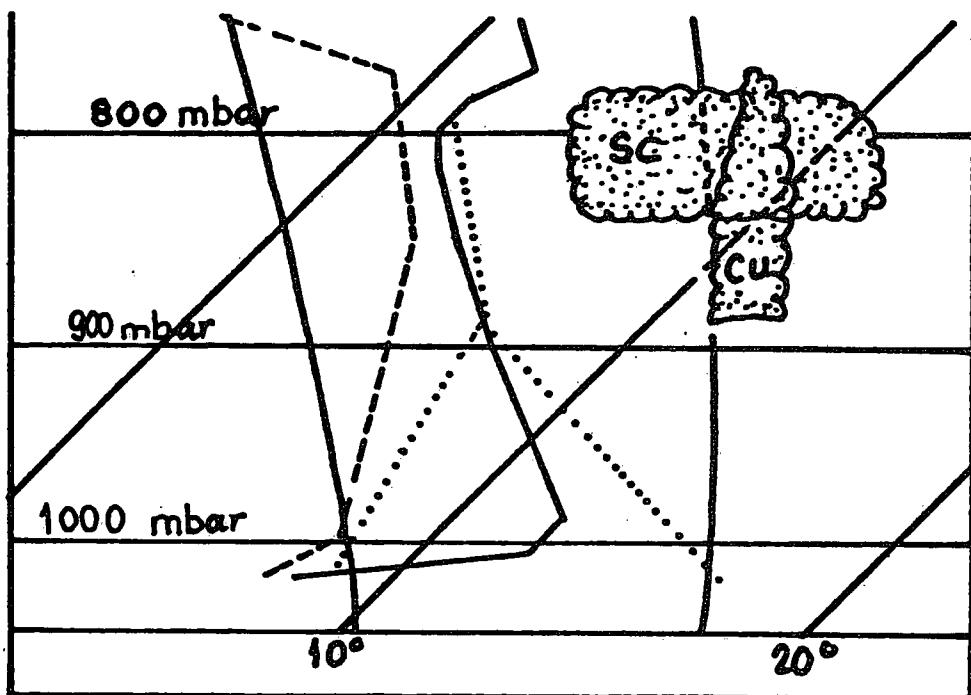
$P_3$  Obergrenze der Cumuli

eine stabile inversion, die nicht durch subsidenz oder advektion beeinflusst ist, wird im verlaufe eines tages durch anhaltende mässige bis starke thermik etwas gehoben. nach p. ackermann, payerne (1959) ergab eine statistik der inversionsobergrenzen von 03 bis 15z (allerdings ganzjährig) ein ansteigen der inversionsobergrenze von etwa 200 m bei einer inversionshöhe zwischen 1000 und 2000 m ü.m. auch die segelflieger berichten immer wieder von einem leichten anheben der inversion im laufe des tages. es dürfte sich also um eine grössenordnung von etwa 100 bis 300 m handeln, mit der eine stabile inversion tagsüber bei anhaltender thermik gehoben wird. sehr oft sind allerdings die reinen tagesgänge durch advektionen, subsidenzen und konvergenzen beeinflusst, so dass ein genauer wert nicht bestimmt werden kann.

### 2.2.3 ausbreitung von cumuli

bei hoher feuchtigkeit unter der stabilen schicht bei bedeutend tieferer basis der wolken werden sich bald nach beginn der konvektion mässige cumuli bilden. die obergrenze der cu wird zeitweise etwas in die stabile schicht eindringen; sobald ihr auftrieb gebremst ist, bildet sich häufig eine sc- oder ac-schicht.

figur 2.2e



beispiel einer temperatur- und taupunktskurve, die die entwicklung von stratocumulusschichten begünstigt, die durch ausbreitung von cumuli unter einer inversion entstehen.

radiosonden zeigen folgende merkmale, die ausbreitungen begünstigen:  
eine gut ausgebildete inversion, was eine ziemlich einheitliche obergrenze  
der cumuli ergibt.

hohe und zunehmende feuchtigkeit (von unten nach oben) bis zur inversion:  
ausbreitungen können auch dann noch entstehen, wenn die taupunktsdifferenz  
gerade unter der inversion 5 grad beträgt, sofern die dicke der feuchten  
schicht mindestens 500 m beträgt.

synoptisch lassen sich folgende hinweise geben:

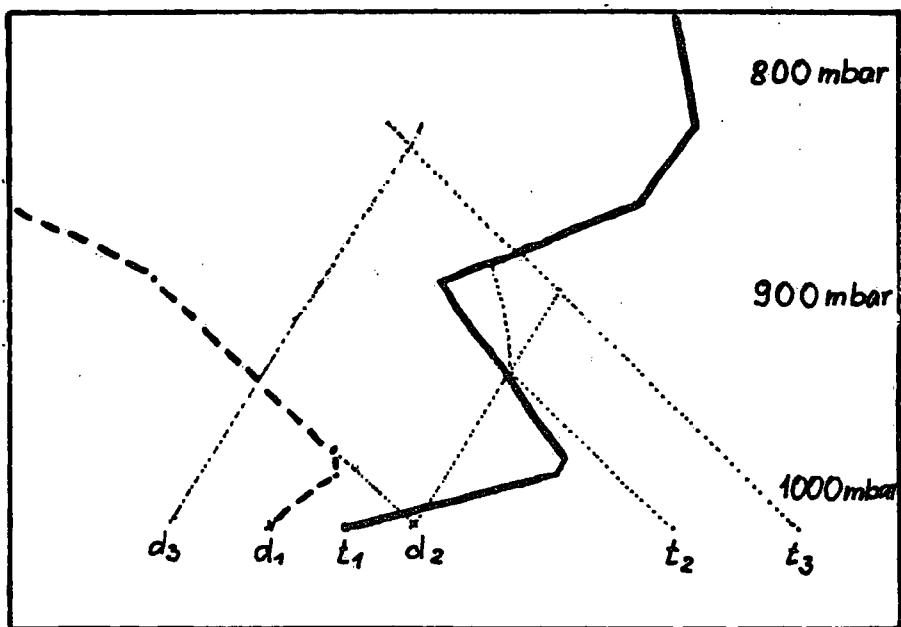
leicht zyklonale krümmung der isobaren auf der bodenkarte und/oder zonen,  
wo sich alte frontensysteme aufgelöst haben (frontolyse). häufig sind sie  
bei alten kaltfronten anzutreffen, die wegen ihrer geringen oder über-  
haupt fehlenden aktivität in der nacht und am frühen morgen auf den per  
fax verbreiteten analysen nicht mehr geführt werden.

#### 2.2.4 auflösung der cumuli unter einer inversion

wenn die luft der ganzen konvektionsschicht ziemlich trocken ist, können  
sich entweder cumuli mit hoher basis entwickeln, oder dann ist überhaupt  
nur noch trockenthermik vorhanden, also keine cu. nicht selten bilden  
sich am vormittag noch einige cumuli, die dann später verschwinden.  
figur 2.2f zeigt ein Beispiel, wo zunächst flache cumuli entstehen, die  
sich dann bei steigender temperatur und fallendem taupunkt wieder auflösen.

dies geschieht oft in der nähe des zentrums eines hochdruckgebiets.  
zunehmende subsidenz oder auch aufkommende föhntendenz lösen infolge  
absinken der inversion bereits entstandene cumuli auf. auch nach auflö-  
sung der cu ist natürlich bei weiterem temperaturanstieg mit trocken-  
thermik zu rechnen.

figur 2.2f auflösung der cumuli unter einer inversion

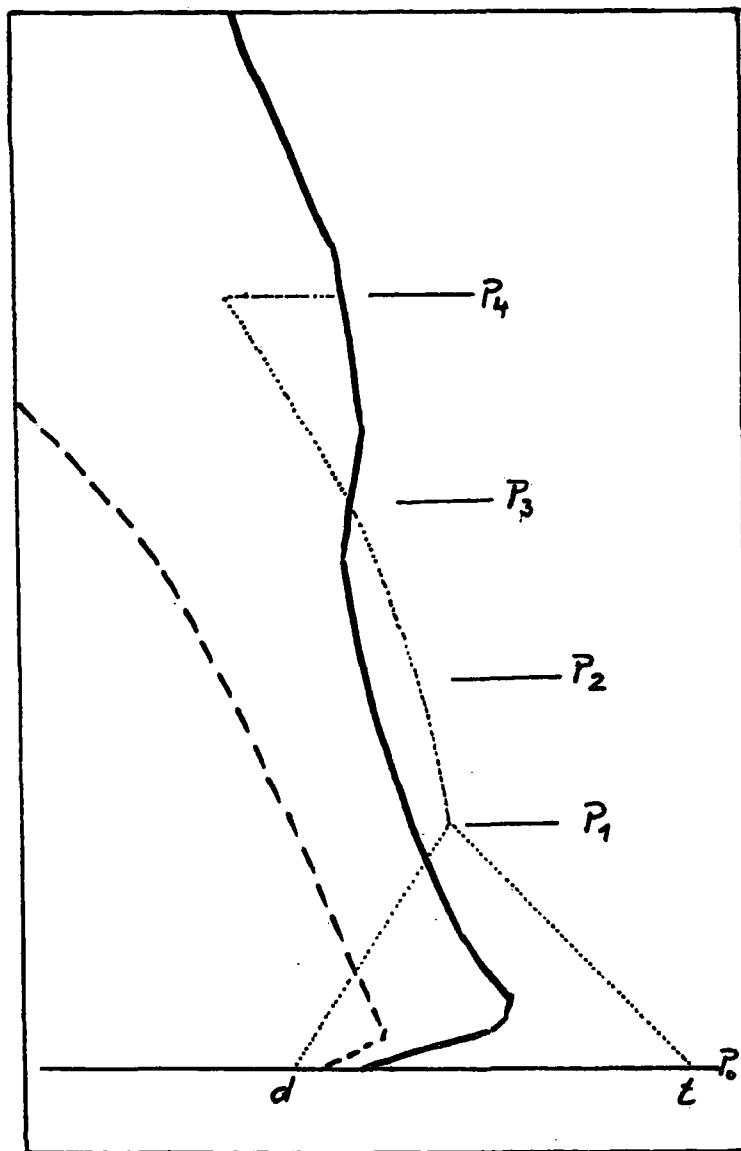


- $t_1$  temperatur bei sonnenaufgang
- $t_2$  temperatur zum zeitpunkt der ersten cumuli
- $t_3$  temperatur am nachmittag
- $d_1$  taupunkt bei sonnenaufgang
- $d_2$  taupunkt bei beginn der konvektion, etwa 3 stunden nach sonnenaufgang
- $d_3$  taupunkt zur zeit des temperaturmaximums  
(extrapolation des mittleren wertes des taupunktes innerhalb der konvektionsschicht bis zum boden)

#### 2.2.5 cumulusbildung ohne inversion

wenn in den oberen schichten nur schwach ausgeprägte, stabilere schichten vorhanden sind, ist eine genauere vorhersage der cumulus-obergrenze nicht möglich. sie hängt dann von kleinräumigen unterschieden ab, die die konvektion entweder hemmen oder fördern (konvergenzlinien, unterschiedliche vegetation, orographie etc.). daher besteht in diesem falle eine ausgesprochen grosse variabilität in der höhe der cumulusobergrenze (siehe figur 2.2g).

figur 2.2g cumulusentwicklung ohne inversion



t temperatur  
d taupunkt } am nachmittag

P<sub>0</sub> bodendruck

P<sub>1</sub> cumulusbasis

P<sub>2</sub> obergrenze der mehrzahl der cumuli. diese höhe ist charakterisiert durch den punkt, wo das temperaturprofil in einen stabileren verlauf mündet (tangential zu feuchtadiabate)

P<sub>3</sub> obergrenze der grössten cumuli bei 3-6/8

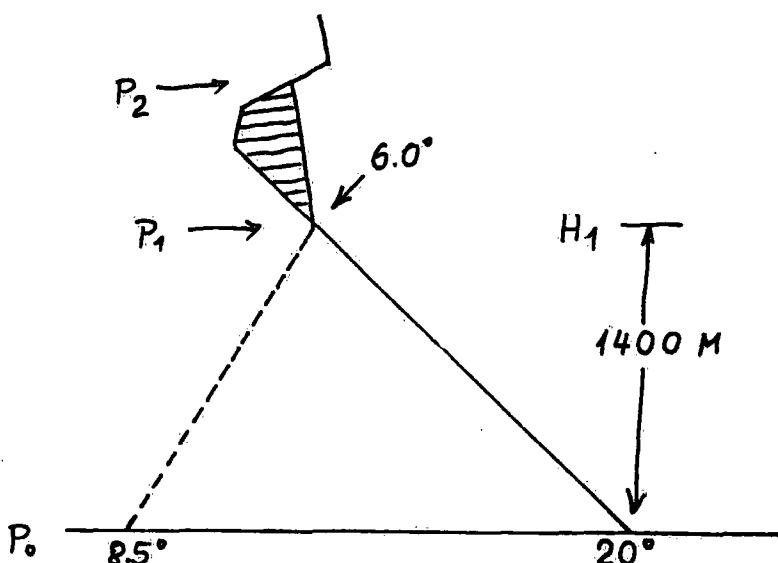
P<sub>4</sub> obergrenze, wenn die konvektion durch lokale konvergenzlinien verstärkt ist. der gewonnene auftrieb bei verbreitet auftretender konvektion wird erst zwischen P<sub>3</sub> und P<sub>4</sub> vernichtet. wolkenobergrenzen bis P<sub>4</sub> bleiben normalerweise nicht lange bestehen.

## 2.2.6 höhe des kondensationsniveaus

als kondensationsniveau wird das niveau bezeichnet, wo sich die trockenadiabate ausgehend von der bodentemperatur und die linie des mischungsverhältnisses ausgehend vom bodentaupunkt schneiden.

vorausgesetzt, temperatur und taupunkt können genügend genau prognostiziert werden, kann die wolkenbasis aus der differenz temperatur - taupunkt multipliziert mit 122 berechnet werden (ergibt höhe in metern).

figur 2.2h



$p_0$  bodendruck

$p_1$  druck bei der cumulusbasis

$p_2$  druck bei der cumulosobergrenze

bodentemperatur 20° C

taupunkt 8,5° C

taupunktsdifferenz  $11,5^\circ \times 122 = 1403 \text{ m}$  (höhe  $p_1 - p_0$ )

$11,5^\circ \times 400 = 4600 \text{ ft}$

an den schweizer segelflugmeisterschaften 1977 wurde bei etwa 8 flügen festgestellt, dass die berechneten werte zwischen 0 und 100 meter zu hoch waren, meistens betrug die differenz 50 bis 100 meter. alle diese flüge erfolgten mit beginn der konvektion, also zwischen 10 und 12 uhr, die basis wurde über oder in der nähe des flugplatzes amlikon festgestellt.

die temperatur und der taupunkt wurden mit einem psychrometer gemessen, resp. berechnet.

### 2.2.7 wolkenbasisprobleme in der schweiz

in unserem lande besteht eine ausgesprochene vielfalt an unterschiedlichen wolkenuntergrenzen, wie z.b. mittelland, jura, voralpen, schwarzwald, nordalpenkamm, innere alpentäler, wallis, engadin, alpensüdseite. die probleme der wolkenbasis im jura liessen sich aufgrund von etwa 25 pilotenrapporten etwas näher untersuchen.

die pilotenrapporte enthielten angaben über wolkenbasis, ort und zeit. ein erster vergleich zwischen wolkenbasis jura beobachtet und theoretisch errechnetem wert aus bodentemperatur und taupunkt von payerne zeigte, dass in der mehrzahl der fälle die wolkenbasis etwa 100-300 m höher war als der errechnete wert von payerne. dies deckt sich etwa mit den angaben, die dr. gessler bereits vor 20 jahren machte.

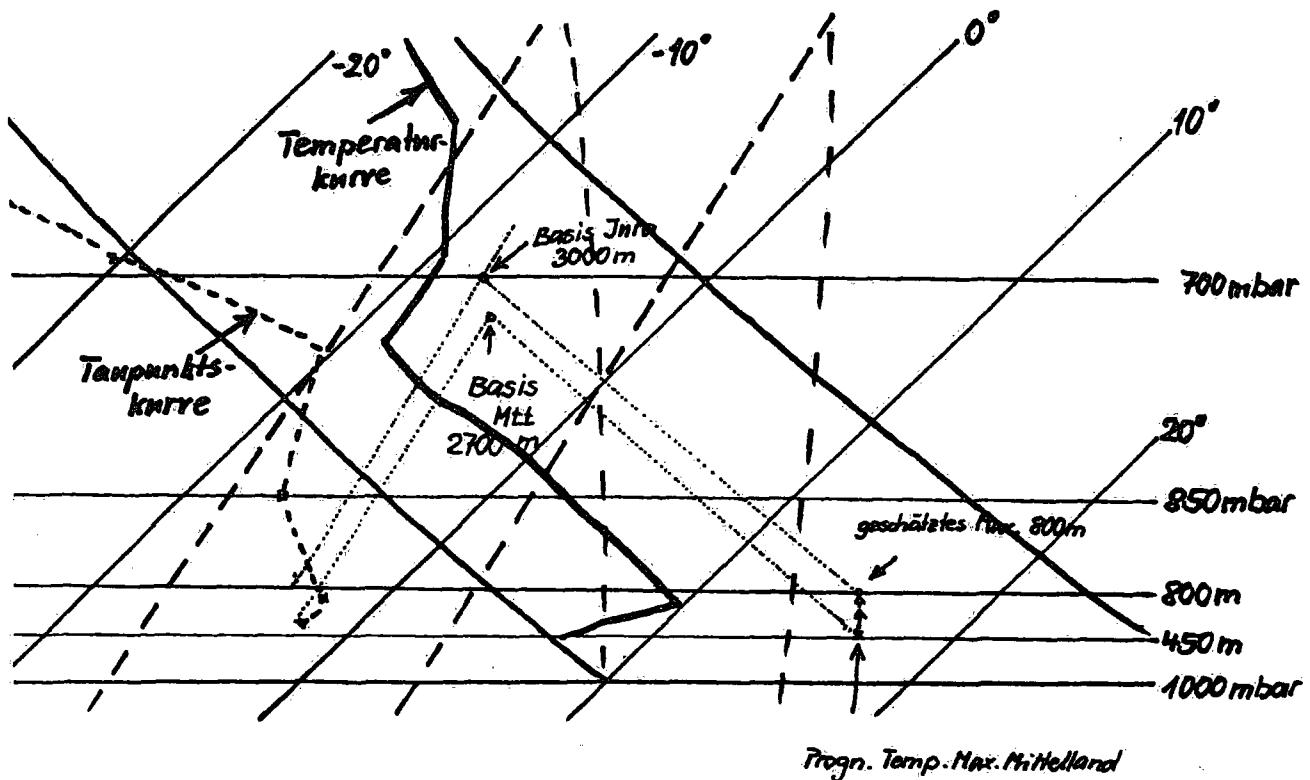
ein weiterer vergleich ergab folgendes:

von segelfliegern beobachtete basis	zeit	ort	max. basis aus Segelflugprognose	nachträglich berechneter wert nach payerne 00z
2800 m	16 h	jura	2800	2900
2100 m	13 h	jura	2700	2600
3000 m	15 h	jura	2500	3100
keine cu		jura	2500	keine cu
2200 m	15 h	jura	2500	2400
2000 m	13 h	jura	2000	2100
2500 m		voralpen	2300	2400
2400 m	14 h	jura	2700	2400
keine cu		jura	2000	keine cu
2000 m	16 h	jura	2100	1800
2000 m	13 h	jura	2500	2500
2400 m	14 h	jura	keine cu	keine cu
keine cu		jura	2000	keine cu
2400 m		voralpen	2000 (mtt)	2800
2200 m	13 h	jura	2000	2800
2600 m	14 h	jura	2500	2700
2200 m	14 h	jura	2300	2200
2700 m		schwarzwald	2700	2500 (stuttgart)
2700 m	15 h	jura	keine cu	3100
2500 m	17 h	jura	2800	2700
2800 m	17 h	voralpen	2700	2700
2300 m	16 h	jura	keine cu	3100
keine cu		schwarzwald	1800	keine cu
keine cu		jura	1800	keine cu
2300 m	16 h	voralpen	1500	2100
2300 m	16 h	mittelland	2000	2200
1800 m	16 h	mittelland	1000	2000
2000 m	14 h	jura	keine cu	keine cu
keine cu		jura	2500	2600

es zeigt sich, dass bei einer toleranz von  $\pm 200$  m und ohne die beobachtungen, die vor 14h gemacht wurden, von den segelflugprognosen 9 zutreffend waren, vom nachträglich errechneten wert aber 19 Fälle richtig waren.

die nachträgliche berechnung erfolgte streng mit dem payerne-aufstieg 00z (einmal stuttgart) und zwar vom 800 m-niveau aus für die basis jura und voralpen. diese Höhe entspricht gut der mittleren Höhe des westlichen juras (gemäss kuhn/quiby 1976). als temperaturmaximum wurde das für das mittelland prognostizierte maximum senkrecht nach oben bis 800 m gehoben und dann von diesem niveau aus in üblicher weise die wolkenbasis berechnet. dies ergibt ergibt etwa 2 grad abnahme mittelland (400 m)-800 m, also nur die Hälfte des trockenadiabatischen gradienten. dass trotzdem ein vernünftiges resultat herauskommt, ist darauf zurückzuführen, dass ja die luft, die dann durch hebung zur kondensation gebracht wird, zum teil vom mittelland, zum teil von den jurahängen und jurahöhen stammt, also eine art mischluft darstellt. deshalb kann diese sehr naive berechnungsart doch ein gutes resultat liefern.

figur 2.2i



es ist klar, dass auch der so errechnete wert nur ein mittel darstellt, da über dem jura selbst ebenfalls wieder verschiedene Höhenstufen auftreten. ein wichtiger vorteil dieser methode liegt aber darin, dass auf diese weise diejenigen Fälle eher erfasst werden, bei denen nur im jura, nicht aber im mittelland cumuli entstehen (siehe auch resultate seite 27). diese Fälle lassen sich bei schematischer addition eines bestimmten betrages wie z.b. 200 m zur errechneten mittellandbasis nicht

prognostizieren. der entscheid, ob sich überhaupt cumuli bilden oder nicht, ist aber offenbar schwierig, denn 4 mal wurde eine prognose "keine cu" ausgegeben und jedes mal entwickelten sich über dem jura cu, andererseits beobachteten die segelflieger 6 mal keine cu, wobei 5 mal cu-entwicklung vorausgesagt wurde und nur 1 mal keine. eine untersuchung der taupunktsdifferenzen auf 850 mbar zeigte, dass in der mehrzahl der Fälle mit guten segelflugverhältnissen mit cumulusentwicklung die tau-punktsdifferenz zwischen 6 und 11 grad lag. wenn aber die differenz 12 grad erreicht oder übersteigt, nimmt die chance für genügende cu-entwicklung sehr rasch ab. solche taupunktsdifferenzen von mehr als 11 grad werden durch warmluftadvektion oder durch subsidenz verursacht, deshalb ist diesen vorgängen grösste beachtung zu schenken. bei zunehmender subsidenz können sich oft anfangs noch einige flache cumuli bilden, die sich anschliessend wieder auflösen (mit steigender basis und absinkender inversion). auf der anderen seite kann festgestellt werden, dass bei zu ende gehender subsidenz im laufe des tages auch bei anfänglich grosser trockenheit sich nach und nach cu bilden, da vom boden her durch die andauerende konvektion etwas feuchtigkeit nach oben verfrachtet wird. aus diesem grunde ist leichte kaltluftadvektion in der konvektions-schicht günstig, während warmluftadvektion zu äusserster vorsicht mahnen sollte.

einer der hinweise auf subsidenz resp. warmluftadvektion ist die luftdruckänderung in mittleren höhen. deshalb wurde untersucht, was für änderungen auf dem jungfraujoch an 22 tagen mit guten segelflugverhältnissen im jura auftraten.

### 3-stündige druckänderung jungfraujoch 06z

13 Fälle (59 %)	± 0,2 mbar
6 Fälle (27 %)	- 0,3 mbar oder mehr
3 Fälle (14 %)	+ 0,3 mbar oder mehr
mittelwert	- 0,03 mbar
höchstwert (+)	+ 1,1 mbar
tiefstwert (-)	- 0,8 mbar

aufgrund von schichtdickenüberlegungen ist bekannt, dass bei normalem tagesgang der luftdruck an bergstationen in der nacht bis gegen morgen leicht sinken, tagsüber leicht steigen sollte.

aus den obigen zahlen kann entnommen werden, dass bei guten lagen im jura der luftdruck um 06z auf dem jungfraujoch unverändert bleiben sollte oder wenn schon eine änderung eintritt, leichter druckfall günstiger ist.

die ebenfalls untersuchte 24-stündige änderung der höhe der 700 mbar-fläche zeigte folgendes resultat:

### 24-stündige änderung (06-06z)

13 Fälle (59 %)	± 25 m
7 Fälle (32 %)	über + 25 m
2 Fälle ( 9 %)	unter - 25 m
mittelwert	+ 11 m
höchster	+ 52 m
tiefster	- 34 m

dies bedeutet, dass die änderungen im allgemeinen nicht zu gross sein sollten, wenn schon eine änderung, dann eher aufbau. (bei zu starkem aufbau starke subsidenz oder warmluftadvektion, bei zu starkem abbau zu starke labilisierung oder bevorstehender luftmassenwechsel.)

## 2.3 stärke der aufwinde (thermik)

sowohl für distanzflüge wie natürlich auch bei segelflugkonkurrenzen, wo eine bestimmte strecke in möglichst kurzer zeit zurückzulegen ist, möchte der pilot so schnell wie möglich fliegen. die günstigste fluggeschwindigkeit kann aus kurven berechnet werden, die die eigenschaften des betreffenden flugzeugtyps berücksichtigen. diese berechnungen zeigen, dass die optimale geschwindigkeit (= wie komme ich mit möglichst wenig höhenverlust möglichst weit) abhängig ist von der mittleren aufwindstärke. je schneller ein pilot im aufwind an höhe gewinnt, desto schneller sollte er zwischen zwei aufwindzonen fliegen.

### 2.3.1 beobachtete aufwindstärken

die vertikalgeschwindigkeit der luft in einer aufwindzone wird immer grösser sein als die steigrate, die ein segelflugzeug erreicht. die vom pilot beobachtete stärke, die er auch für seine berechnungen verwendet, ist die wahre vertikalgeschwindigkeit minus die sinkgeschwindigkeit des flugzeugs. diese differenz liegt in der grössenordnung von 1 m/s, wenn das flugzeug kreist (bei 45 grad neigungswinkel).

von den piloten wird immer das "steigen" oder die "steigrate" des flugzeugs gemeldet. auch die thermikangaben in unseren segelflugprognosen beziehen sich immer auf das steigen des flugzeugs.

### 2.3.2 unterschiede der aufwindstärken

eine aufwindzone kann als säule aufsteigender luft betrachtet werden (siehe figur 2). die höhe und der durchmesser der säule zeigen grosse unterschiede. in den meisten fällen findet man die grössten aufwärtsbewegungen in einem sog. core oder zentrumsbereich innerhalb der säule.

eine solche aufwindzone erreicht in einer höhe von 1000 m über grund etwa einen durchmesser von 300-500 m. in england wird der durchmesser mit 200-600 m angegeben. auch lindsay 1972 nennt für eine höhe von 300-600 m über grund eine zahl von 180-550. diese grössenordnung bezieht sich auf verhältnisse im flachland.

um nun die beste steiggeschwindigkeit des flugzeuges zu erreichen, versucht der pilot, im zentrum (core) der aufwindzone zu kreisen. wenn er seine kreise so zentriert, bleibt das steigen für einige minuten ziemlich gleich. wenn er seine kreise schlecht zentriert, wird die steigrate grosse schwan-kungen aufweisen. da für den piloten kaum sichtbare zeichen vorhanden sind, wo sich das zentrum und damit auch die grösste aufwindstärke befindet, ver-lässt er sich auf seine instrumente, die die steiggeschwindigkeit angegeben (variometer) sowie auf subjektive empfindungen, die sich durch erfahrung ergeben aus den unterschiedlichen vertikalbeschleunigungen, die gegen den rand der aufwindzone auftreten. die pilotenrapporte zeigen deshalb grosse unter-schiede in den beobachteten aufwindstärken und zwar selbst an meister-schaften, wo alle piloten zur gleichen zeit dieselbe route abfliegen.

#### 2.3.3 mittlere stärke der thermik und beobachtete unterschiede

um die optimale fluggeschwindigkeit zu bestimmen oder um die länge eines geplanten fluges festzulegen, muss der pilot mittlere werte verwenden und einzelne spitzenwerte (nach oben und unten) nicht berücksichtigen. wenn eine grössere anzahl von piloten von einer bestimmten gegend über die auf-windverhältnisse berichtet, wird der pilot, der schneller geflogen ist, oft steigraten rapportieren, die zweimal so gross sind wie vorausgesagt, während anderseits langsamere piloten nur die hälften der vorausgesagten werte beobachten (siehe auch 2.3.7).

#### 2.3.4 voraussage der thermik

es bestehen keine einfachen richtlinien, die alle einflüsse berücksich-tigen würden, doch existieren empirische tabellen, die mittlere steigwerte angeben, wie sie von piloten beobachtet wurden. die zahlen basieren auf dem durchschnitt der werte, die auf einer grossen zahl von pilotenrapporten in den usa (lindsay 1972) und frankreich (siacchitano) beruhen. das prin-zip ist einfach: je höher sich eine thermiksäule erstreckt, desto grösser ist auch die aufwindstärke.

	maximale höhe des trockenadiabatischen gradienten	mittlere thermik (steigen)
a) thermik ohne cu (trockenthermik)	1 km	1 m/s
	2 km	2 m/s
	3 km	3 m/s
b) thermik in verbin- dung mit kleinen cu	1 km	1,2 m/s
	2 km	2,4 m/s
	3 km	3,6 m/s
c) thermik in verbin- dung mit kleinen cu und kaltluftadvektion	1 km	1,5 m/s
	2 km	3,0 m/s
	3 km	4,5 m/s

die angegebenen werte gelten nicht bei grossen cumuli oder cumulonimben.  
unter solchen wolken sind die aufwindstärken sehr verschieden, können  
aber zum teil weit höhere werte erreichen.

aus pilotenrapporten in der schweiz liessen sich nur 18 Fälle finden,  
wo klare angaben über wolkenbasis und thermikstärke vorlagen. immerhin  
zeigen diese für 10 Tage mit mässigen bis guten verhältnissen eine  
höhe der trockenadiabatischen schicht von etwa 2000 m, während sie bei  
8 schwachen lagen nur etwa 1550 m betrug.

um zu mehr fällen zu kommen, wurde die theoretische höhe der trocken-  
adiabatischen schicht mit den 15z-werten (synop) von payerne errechnet.  
aus temperatur und taupunkt ergab sich für

22 Tage mit guten verhältnissen	2000 m, min. 1600 m	max. 2550 m
22 Tage mit schwachen bis mässigen verhältnissen	1800 m, min. 1350 m	max. 2300 m
13 Tage mit ungünstigen verhält- nissen	1415 m, min. 500 m	max. 1950 m

diese zahlen geben doch einen hinweis, dass auch bei uns diese regeln  
angewendet werden können, dies insbesondere dann, wenn man die zahlen-  
werte durch die allgemeinen formulierungen schwach (unter 1 m/s),  
mässig (1-1,5 m/s), gut (2 m/s und mehr) ersetzt.

### 2.3.5 advektive änderungen

advektive änderungen in der oberen hälften der schicht, in der sich die  
thermik abspielt, haben grossen einfluss auf die stärke der thermik. bei  
kaltluftadvektion in diesem bereich sind die beobachteten steigraten

grösser und die thermik hält am abend länger an. andererseits wird die thermik im erwähnten höhenbereich durch warmluftadvektion abgeschwächt und flaut gegen abend rascher ab.

#### 2.3.6 dauer der thermik am abend

a) bei kaltluftadvektion braucht es wenig einstrahlung, um den trocken-adiabatischen zustand vom boden her zu erhalten. die thermik kann daher in solchen fällen andauern, bis die sonne nur noch wenige grade über dem horizont steht. in gewissen fällen können sogar noch nach sonnenuntergang unter aktiven cumuli aufwinde gefunden werden.

b) topographische einflüsse

in hügeligem oder gebirgigem gelände wird die thermik über den sonnenbeschienenen hängen viel länger anhalten als über flachem gelände.

c) einfluss der vegetation

offenes land verliert die tagsüber aufgenommene wärme rasch, wenn die sonne tief steht. hingegen haben die wälder und städte eine grössere wärmespeicherkapazität. so sind schwache aufwinde über wäldern und städten oft noch zu beobachten, wenn über offenem lande die thermik bereits seit einer stunde oder mehr zu ende ist.

dies konnte anlässlich der schweizer segelflugmeisterschaften in montricher sehr schön beobachtet werden. nordöstlich des flugplatzes befindet sich ein grösserer wald. an einem tag erreichten die meisten piloten aus dieser richtung kommend erst zwischen 17 und 1830h den flugplatz, also bei bereits sehr tief stehender sonne (mitte mai). über dem flachland waren sonst keine aufwinde mehr zu finden, über diesem waldstück hingegen, das von den piloten in niedriger Höhe überflogen wurde, konnten sie praktisch ohne sinken mit der optimalen geschwindigkeit fliegen, d.h. die aufwinde betrugen offenbar etwa 0,5 bis 0,8 m/s (dies ist die geringste sinkgeschwindigkeit von hochleistungsgflugzeugen).

d) dunst

wenn unter einer inversion eine dunstschicht vorhanden ist, wird die thermik am abend rascher abflauen, da die sonneneinstrahlung geringer ist als bei guter sicht.

### 2.3.7 aufwindstärke und flugzeugeigenschaften

der höhengewinn, den ein pilot in einer aufwindzone erreichen kann, hängt also ab vom durchmesser des kreises, den der pilot fliegt sowie von der sinkgeschwindigkeit des flugzeuges beim kreisflug, da ja mit zunehmender distanz zum zentrum der aufwindzone die aufwindstärke abnimmt. flugzeuge mit geringer flächenbelastung und relativ kleiner spannweite können kreise mit kleinerem durchmesser fliegen und daher im zentrum der aufwindzone rascher an höhe gewinnen. ein solches segelflugzeug hat aber auf der anderen seite nachteile beim geradeausflug, weil dann flugzeuge mit langen flügeln und hoher flächenbelastung schneller sind. bei modernen hochleistungsflugzeugen wird ein kleiner teil der steiggeschwindigkeit geopfert, um bei hohen geschwindigkeiten einen viel besseren gleitwinkel zu besitzen. für gute eigenschaften bei hohen geschwindigkeiten braucht ein segelflugzeug also ein höheres flächengewicht als für den langsamen kreisflug. um das zu erreichen, wird in den flügeln wasserballast mitgeführt und zwar an tagen, an denen gute thermik erwartet wird. das wasser wird dann abgelassen, wenn die thermik schwach wird oder vor der landung. die durch den mitgeführten wasserballast und die grösseren flügel erzielte verbesserung ist grösser als man annehmen würde. einer der gründe dafür liegt darin, dass solche segelflugzeuge schneller und weiter fliegen können, bis sie erneut eine aufwindzone benützen müssen, um wieder höhe zu gewinnen. bei schnellem flug wird zudem der einfluss des gegenwindes reduziert. da der pilot zwischen zwei aufwindzonen weiter fliegen kann, muss er dazwischen liegende, schwächere aufwinde nicht benützen und kann so nur die stärkeren ausfliegen. daher werden solche piloten häufiger über starke aufwinde berichten als piloten mit langsamem flugzeugen. mit alten segelflugzeugen können dagegen zwischen den aufwinden keine grossen distanzen zurückgelegt werden, man muss daher oft jeden schlauch ausfliegen, ob er nun stark oder schwach ist. ein solcher pilot wird daher seltener auf die stärksten aufwinde stossen und wird oft über schwache bis mässige thermik rapportieren, wenn ein pilot mit einem schnellen flugzeug über gute thermik berichtet.

2.4 zusammenfassung der merkmale, auf die in radiosonden zu achten ist

2.4.1 höhe der trockenadiabaten

die erwärmung vom boden her sollte so gross sein, dass bis auf mindestens 1000 meter/grund ein trockenadiabatischer gradient entsteht. für gute segelflugtage sollte sich der trockenadiabatische gradient bis auf eine höhe von 1500 meter/grund oder mehr erstrecken (siehe auch 2.3.4).

die luft sollte so feucht sein, dass die linie des konstanten mischungsverhältnisses, ausgehend vom vorausgesagten bodentaupunkt, die trockenadiabate, ausgehend von der mittagstemperatur, auf einer höhe von mehr als 1000 meter schneidet.

2.4.2 höhe der instabilen schicht

cumuluswolken sollten sich nur soweit entwickeln, dass sie höchstens zu vereinzelten schwachen schauern führen.

für das flachland lässt sich aus der nächsten, repräsentativen radiosonde die höhe der inversion feststellen. bereits eine isothermie von weniger als 300 m dicke und subsidenz darüber genügt nach dr. gensler, um ganztägig die wolkenobergrenze auf dieser höhe zu fixieren. gute hinweise können auch die dunstobergrenzen der bergstationen geben. aufgrund der radiosonden von payerne oder stuttgart resp. einem mittel der beiden wurde versucht, um 00z die sperrsichten festzustellen. als sperrsicht wurde eine inversion, isothermie, stabile schicht oder starkes abtrocknen von mehr als 12 grad taupunktsdifferenz bezeichnet. sowohl bei den mässigen wie auch den guten lagen war fast immer eine mehr oder weniger ausgeprägte sperrsicht vorhanden. von total 44 tagen mit je 22 mässigen und 21 guten lagen hatten um 00z

21 fälle	eine isothermie oder inversion
9 fälle	eine stabile schicht
9 fälle	starkes abtrocknen
4 fälle	keine sperrsicht

die mittlere höhe aller sperrsichten lag bei 2850 m/m.

es ist klar, dass als inversion oder stabile schicht nur diejenigen Fälle bezeichnet wurden, die auf die konvektion einen wesentlichen einfluss hatten.

die höhe der sperrsichten lag in

26 fällen	zwischen 2300 und 3300 m/m
7 fällen	über 3300 m/m
7 fällen	unter 2300 m/m

in 4 fällen war keine sperrsicht vorhanden.

von den sperrsichten unter 2300 m/m waren 3 Fälle mit starkem abtrocknen, bei den übrigen handelte es sich um isothermien oder inversionen von nicht mehr als einem grad. von den inversionen zeigten 12 eine temperaturzunahme bis plus 1 grad oder eine isothermie, 9 eine inversion von plus 2 bis plus 4 grad.

zusammenfassend lässt sich feststellen, dass immer eine sperrsicht vorhanden sein muss, damit die cumuli auf ihre ideale grösse beschränkt bleiben und sich nicht zu stark entwickeln (sogenannte überentwicklung, wie sie in segelfliegerkreisen genannt wird).

#### 2.4.3 taupunktsdifferenz bei der inversion

falls die konvektionswolken in ihrer höhe durch eine markante inversion begrenzt sind, sollte die luft an und unter der inversion eine taupunktsdifferenz von mindestens 5 grad haben. die cumuli breiten sich oft an einer inversion aus, wenn die luft feuchter ist (weniger als 5 grad). dabei können sich bis zu 7/8 alto- oder stratocumuli bilden.

#### 2.4.4 feuchtigkeitsverhältnisse über der inversion

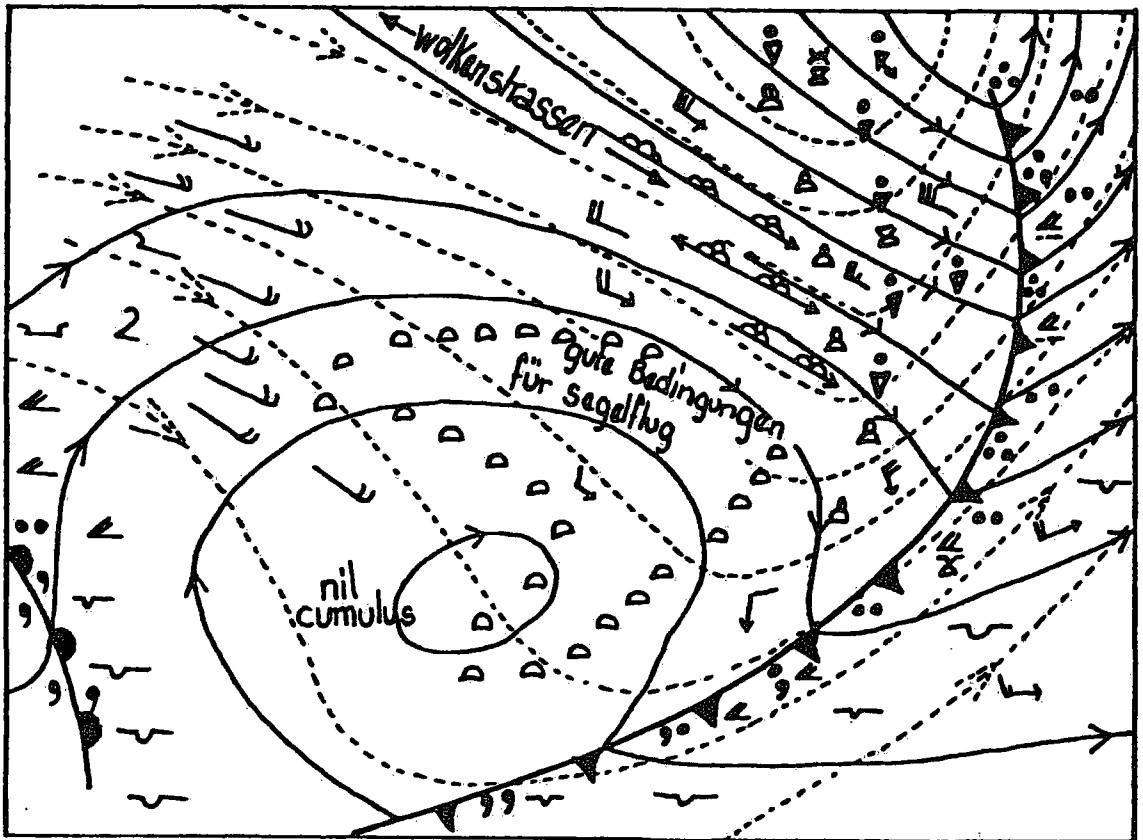
über der instabilen konvektionsschicht sollte die relative feuchtigkeit weniger als 50 % betragen. feuchte luft über der inversion zeigt an, dass sich dort schichtwolken bilden können, die die einstrahlung reduzieren oder ganz stoppen.

dies wird am besten geprüft, indem unter, bei und über der inversion die feuchtpotentielle temperatur bestimmt wird. dabei sollte sich diese temperatur nicht wesentlich ändern. falls sie über der inversion zunimmt, bedeutet dies, dass eine wärmere luftmasse über der inversion liegt, was, wie oben erwähnt, schichtwolkenbildung begünstigt. im anderen fall, d.h. nach oben gleich bleibender feuchtpotentieller temperatur, heisst das, dass es sich um eine reine subsidenzinversion handelt, wo ausbreitungen nur bei sehr feuchter luft (siehe 2.4.3) zu erwarten sind.

2.5

günstige merkmale auf synop-karten

figur 2.5    wetterlage und segelflug



ausgezogene linien: bodenisobaren

gestrichelt: 300 mbar-isohypsen

1. 300 mbar-trog hinter der kaltfront mit schauern, cb in und vor der troglinie
2. subsidenz auf der westseite des höhentroges führt zu kleineren cu
3. cumulusstrassen bilden sich dort, wo einerseits noch ein kräftiger gradient in den unteren schichten vorhanden und andererseits die wolkenobergrenze durch subsidenz begrenzt ist. in der gegend des 300 mbar-tiefs keine wolkenstrassen, da in dieser gegend die instabile schicht zu hoch ist.
4. die gegend mit einer mässigen anzahl kleiner cumuli ist die günstigste für streckensegelflug. die luft ist kalt und instabil in den unteren schichten, die konvektion ist durch subsidenz begrenzt. wegen der relativ geringen feuchtigkeit ist die wolkenbasis hoch.
5. vor der nächsten warmfront wird die sonneneinstrahlung auf der westseite des rückens bereits wieder durch cirren und dann altostratus reduziert.

2.5.1 bodenkarte

1. hochdruckrücken
2. antizyklonale krümmung der isobaren
3. gradientwind kleiner als 25 kt
4. keine frontensysteme und keine konvergenzlinien so nahe, dass ausgedehntere schichtwolken zu erwarten wären
5. luftmasse, die aus polaren gegenden stammt
6. relativ tiefe taupunkte
7. gute sicht

zu punkt 1 bodendruck

um diesen wert genauer zu bestimmen, wurde der luftdruck (qff) 06z von kloten herangezogen.

an den 22 tagen mit guten verhältnissen lag der luftdruck in

19 fällen (86%) bei 1017 - 1024 mbar  
2 fällen ( 9%) unter 1017 mbar  
1 fall ( 5%) über 1024 mbar  
  
der höchstwert lag bei 1025,1 mbar  
der tiefste bei 1013,6 mbar

für 22 mässige lagen lauten die entsprechenden zahlen:

12 Fälle (54%) 1017 - 1024 mbar  
7 Fälle (32%) unter 1017 mbar  
3 Fälle (14%) über 1024 mbar  
  
max. wert 1026,2 mbar  
min. wert 1015,3 mbar

12 ungünstige lagen ergaben:

2 Fälle (17%) 1017 - 1024 mbar  
8 Fälle (66%) unter 1017 mbar  
2 Fälle (17%) über 1024 mbar  
  
max. wert 1024,4 mbar  
min. wert 1007,1 mbar

diese zahlen bedeuten, dass bei guten lagen der luftdruck meist zwischen 1017 - 1024 mbar liegt, dies ist aus folgendem grund vernünftig:

bei diesen druckwerten ist am ehesten gewährleistet, dass in den unteren schichten labile, kühlere luft vorhanden ist und in der höhe trockene, subsidente wärmere luft. auch nach einer statistik von j. lehmann ist im bereich 1017 - 1018 mbar eine rasche abnahme der gewitterzahl zu verzeichnen, d.h. labile vorgänge, die die ganze troposphäre erfassen, werden seltener bei druckwerten über 1018 mbar. bei werten über 1024 mbar ist dann auf der andere seite oft die subsidenz zu stark, so dass entweder die inversion zu tief ist oder keine wesentliche cu-entwicklung mehr stattfindet. unter 1017 mbar ist wie erwähnt die schichtung oft zu labil, zudem steigt die chance, dass sich fronten in der nähe befinden.

die 24 stündige druckänderung in kloten ergab normale schwankungen um den mittelwert.

gute lagen	14 fälle (63%)	±3 mbar
	5 Fälle (23%) über	+3 mbar
	3 Fälle (14%) unter	-3 mbar
mässige lagen	15 Fälle (68%)	±3 mbar
	6 Fälle (27%) über	+3 mbar
	1 fall (5%) unter	-3 mbar

dies bestätigt eine alte erfahrung, dass es sich bei mässigen und guten lagen meist um wetterlagen handelt, die sich nur langsam entwickeln, wobei ein aufbau noch etwas günstiger ist als ein abbau, am günstigsten aber ist eindeutig wenig änderung. bei schnellen änderungen wird eben der optimale zustand der atmosphäre, der für segelflug am besten ist, zu rasch durchschritten, so dass dann entweder bei beginn oder dann gegen ende die verhältnisse weniger gut sind. für einen flug über mehr als 300 km benötigt aber ein pilot im allgemeinen den ganzen tag (von etwa 10-11h bis gegen sonnenuntergang).

von den allerdings nur 6 fällen, bei denen von segelflug-piloten über dem jura keine cumuli beobachtet wurden, wurde in kloten um 06z 5 mal qff von 1015,2 bis 1019,5 mbar und 1 mal von 1026,2 mbar beobachtet. die 24h druckänderung schwankte zwischen +3 und -3 mbar, nur ein fall lag bei -7,5 mbar. Es zeigt sich, dass mit einer ausnahme nicht sehr hoher luftdruck und damit starke subsidenz für das fehlen der cumuli verantwortlich war. bei den 5 fällen mit einem luftdruck zwischen 1015 und 1019 handelte es sich um tage, wo die relativ kühle kontinentalluft durch wärmere luftmassen von frankreich oder dem westlichen mittelmeer her ersetzt wird, und die zuerst in den mittleren schichten einfließt und damit zu einer vollständigen stabilisierung führt, also den klassischen fall von warmluftadvektion. von segelfliegern wird oft berichtet, dass diese luftmassengrenze gut beobachtet werden kann, wie sie vom rhonetal her nach norden vordringt mit starker sichtreduktion (dunst), gleichzeitig verbunden mit nur noch sehr schwacher thermik auch bei guter einstrahlung.

zu punkt 3 gradientwind siehe 1.3.1.

zu punkt 7 gute sicht siehe 1.3.3.

#### 2.5.2 500- oder 300 mbar-karte

1. niveau-anstieg nach durchgang einer troglinie
2. in der nähe von hochdruckgebieten (troposphärischen)
3. in regionen mit negativer vorticityadvektion
4. wo computerkarten in mittleren höhen absinkende luftbewegungen zeigen.

zu punkt 1 niveau-anstieg

vergleich 500 mbar- werte payerne 00z mit dem mittel 500 mbar  
zentralalpen (pentadenmittel kirchhofer)

gute lagen	10 fälle (45%)	±4 dam
	8 fälle (37%) über	+4 dam
	4 fälle (18%) unter	-4 dam
	mittelwert	+2 dam
	max. wert	+12 dam
	min. wert	-13 dam
mässige lagen	11 fälle (52%)	±4 dam
	8 fälle (38%) über	+4 dam
	2 fälle (9%) unter	-4 dam
	mittelwert	+3,5 dam
	max. wert	+14 dam
	min. wert	-6 dam

mässige und gute lagen sind also offensichtlich viel wahrscheinlicher bei einer 500 mbar-höhe um oder über dem mittelwert. dies gewährleistet offenbar die nötige stabilität in den mittleren schichten der troposphäre. bei den wenigen fällen mit tiefen 500 mbar-werten wird durch abtrocknung in den mittleren schichten verhindert, dass sich zu hoch reichende cumuli entwickeln können.

24h änderung gegenüber dem vortrag 00z

gute lagen	19 fälle (86%)	±4 dam
	1 fall (5%) über	+4 dam
	2 fälle (9%) unter	-4 dam
	mittelwert	+1 dam
	max. wert	+11 dam
	min. wert	-6 dam
mässige lagen	15 fälle (75%)	±4 dam
	5 fälle (25%) über	+4 dam
	0 unter	-4 dam
	mittelwert	+2,5 dam
	max. wert	+14 dam
	min. wert	-3 dam

für mässige bis gute lagen ist also eine 24h-änderung im Bereich ±4 dam am aussichtsreichsten. der oben angegebene isohypsen-anstieg ist also nicht feststellbar. dies könnte damit zusammenhängen, dass wegen der orographie (jura und indirekt alpen) die geeignete schichtung nach einem kaltfrontdurchgang einen tag später eintritt als über ganz flachem gelände. unter segelfliegern ist ja die regel bekannt, dass am zweiten oder dritten tag nach bisenbeginn, also im allgemeinen etwa 4 tage nach kaltfrontdurchgang im jura die besten segelflugaussichten bestünden, es scheint also, dass der "beste" tag im jura mindestens einen tag verzögert eintritt gegenüber flachem gelände (wie z.b. über frankreich, deutschland etc.). dort dürfte daher diese regel richtig sein, im jura aber ist wegen der erwähnten verzögerung der anstieg der 500 mbar-höhe praktisch abgeschlossen und nicht mehr signifikant.

im übrigen habe ich alle diese punkte auch mit der relativen topographie 1000 - 500 mbar überprüft, doch waren keine wesentlichen unterschiede zu den ergebnissen der absoluten 500 mbar-höhe festzustellen (was nach den ergebnissen von qff kloten und 500 mbar absolute topographie vernünftig ist).

zu punkt 2: in der Nähe von hochdruckgebieten

500 mbar krümmung, richtung und stärke 00z  
raum nördlich der alpen

krümmung	gute lagen	mässige lagen
antizyklonal	15 (68%)	9 (43%)
indifferent	4 (18%)	6 (28%)
zyklonal	2 ( 9%)	5 (24%)
vrb, windschwach	1 ( 5%)	1 ( 5%)
richtung		
nw - n	14 (63%)	4 (19%)
ne - e	6 (27%)	9 (43%)
se - s	0	2 ( 9%)
sw - w	1 ( 5%)	5 (24%)
vrb	1 ( 5%)	1 ( 5%)
stärke		
bis 20 kt	17 (77%)	14 (67%)
über 20 kt	5 (23%)	7 (33%)
mittelwert	18,5 kt	19,5 kt

diese resultate sind ziemlich eindeutig. so steigt die chance auf einen guten tag in bezug auf segelflug bei antizyklonaler krümmung, wind aus sektor nordwest bis ost und einer windstärke nicht über 20 kt. bereits bei den mässigen lagen ist diese scharfe trennung nicht mehr vorhanden oder zum teil verwischt.

taupunktsdifferenz der nächsten repräsentativen radiosonde (payerne oder stuttgart) 500 mbar 00z gute lagen

0 - 5 grad	1 fall ( 5%)
6 - 10 grad	7 Fälle (32%)
11 - 20 grad	11 Fälle (50%)
über 20 grad	3 Fälle (13%)

oder mit anderen grenzwerten

0 - 7 grad	3 Fälle (13%)
8 und mehr grad	19 Fälle (87%)
mittelwert	14 grad

die werte von 12z brachten praktisch die gleichen resultate, ebenso die mässigen lagen (1 bis 1 1/2 grad feuchter).

daraus lässt sich schliessen:

für mässige bis gute lagen ist im 500 mbar-niveau eine taupunktsdifferenz von mehr als 8 grad günstig, bei werten unter 8 grad dagegen ist eine gute lage unwahrscheinlich.

2.5.3 850- oder 700 mbar-karte

die 850 mbar-karte ist zu empfehlen, wenn die mittlere Höhe des Geländes weniger als 500 m beträgt, die 700 mbar-karte für höher gelegene Regionen.

1. Isohypsen antizyklonal gekrümmmt
2. Gegenden mit schwacher Strömung und hohen Isohypsenwerten
3. wo die Temperaturanalyse entweder keine Advektionen oder dann Kaltluftadvektion zeigt
4. wo tiefe feuchtpotentielle Temperaturen herrschen
5. bei relativ geringer Feuchtigkeit mit Taupunktdifferenzen von mehr als 5 Grad

Zu den Punkten 1 und 2 sind folgende Ergänzungen zu machen:

Krümmung, Richtung und Stärke 850 und 700 mbar 00Z gute Lagen nördlich der Alpen

	850 mbar	700 mbar
Krümmung antizyklonal	15 Fälle (68%)	14 Fälle (64%)
indifferent	3 Fälle (14%)	2 Fälle (9%)
zyklonal	0	4 Fälle (18%)
Vrb, windschwach	4 Fälle (18%)	2 Fälle (9%)
Stärke 5 - 12 kt	16 Fälle (73%)	20 Fälle (90%)
15 kt	4 Fälle (18%)	1 Fall (5%)
20 kt	2 Fälle (9%)	1 Fall (5%)
Mittelwert	9,5 kt	10 kt
Richtung NW - N	4 Fälle (18%)	10 Fälle (45%)
NE - E - SE	14 Fälle (64%)	7 Fälle (32%)
S - SW - W	0	3 Fälle (14%)
Vrb	4 Fälle (18%)	2 Fälle (9%)

Die im Punkt 1 postulierte antizyklonale Strömung wird also bestätigt, ebenso die schwache Strömung, wobei in einzelnen Fällen um 00Z die Bise im 850 mbar-Niveau noch mäßig war.

Die hohen Isohypsenwerte sind indirekt in früheren Kapiteln bestätigt worden. Wenn nämlich am Boden (siehe Luftdruckkloten 2.1.5) und auf 500 mbar (siehe 2.5.2) über dem Mittel liegende Werte vorherrschten, kann dies auch auf das 850- und 700 mbar-Niveau übertragen werden.

Bei der Windrichtung fällt auf, dass auf 850 mbar nur NW - E - SE vorkommt. Dadurch ist in dieser Schicht eben die Zufuhr kühler Kontinentalluft (mit tiefen Taupunkten) am besten gewährleistet.

Zu Punkt 5: Feuchtigkeit relativ gering

Taupunktdifferenzen der nächsten repräsentativen Radiosonde 00Z (meist Payerne oder Stuttgart)

Gute Lagen	850 mbar	700 mbar
5 - 11 Grad	14 Fälle (63%)	9 Fälle (41%)
2 - 4 Grad	5 Fälle (23%)	3 Fälle (14%)
über 11 Grad	3 Fälle (14%)	10 Fälle (45%)
Mittelwert	8,5 Grad	13 Grad

	850 mbar	700 mbar
--	----------	----------

mässige lagen

5 - 11 grad	16 Fälle (72%)	11 Fälle (50%)
2 - 4 grad	5 Fälle (23%)	4 Fälle (18%)
über 11 grad	1 Fall (5%)	7 Fälle (32%)

auf 850 mbar liegt das mittel und auch das optimum bei etwa 8 grad, dieser wert wird auch von segelfliegern bestätigt. in diesem bereich ist die entwicklung der idealen cumulusmenge am besten möglich, bei tieferen werten (unter 5 grad) ist mit zu viel cu (mit tieferer basis) zu rechnen, bei taupunktsdifferenzen von mehr als 10 - 11 grad erfolgt ein abrupter übergang zu trockenthermik, d.h. es bilden sich keine cu mehr.

auf 700 mbar ist die taupunktsdifferenz allgemein grösser als auf 850 mbar, da dieses niveau oft über der inversion liegt.

die ebenfalls geprüften daten von 12z ergaben in beiden niveaus grössere taupunktsdifferenzen als um 00z.

	850 mbar	700 mbar
gute lagen		
mittel 00z	8,5 grad	13 grad

mittel 12z	10 grad	13 grad
------------	---------	---------

mässige lagen

mittel 00z	7 grad	10 grad
mittel 12z	9,5 grad	14 grad

auf 850 mbar erfolgt also zwischen 00 und 12z eine abtrocknung, was durch die konvektion erklärt werden kann. auf 700 mbar ist die tendenz weniger einheitlich. nach einer untersuchung in payerne 1974 ergab sich für alle tage sowohl auf 850 wie auf 700 mbar eine zunahme der taupunktsdifferenz von 00 auf 12z um etwa 1 bis 2 grad.

zusammenfassend:

eine gute lage ist viel wahrscheinlicher bei einer 850 mbar-taupunkts-differenz 00z von 5 - 11 grad, als bei werten unter oder über diesem bereich, im 700 mbar niveau sollte die taupunktsdifferenz grösser als 5 grad sein.

zu punkt 3 advektion

wie bereits aus den windangaben 500- und 850 mbar ersichtlich, sollte im allgemeinen keine oder leichte kaltluftadvektion herrschen. mit dem hodogramm wurden von payerne resp. der nächsten repräsentativen radiosonde die advektionen bestimmt (850 - 500 mbar). an den 22 guten tagen lag die advektion in 8 fällen unter 5 kt, also keine von bedeutung, bei 12 fällen herrschte leichte kaltluftadvektion aus n bis e, stärke unter 12 kt, nur zweimal wurde leichte warmluftadvektion aus südwest festgestellt.

## 2.6 einfluss des windes auf die thermik

### 2.6.1 windstill

wenn innerhalb der konvektionsschicht kein wind herrscht, tritt die thermik verbreitet auf und hält länger an als unter stärkerem windeinfluss. hingegen werden sich thermikablösungen weniger oft entwickeln und sich auf gegenden konzentrieren, wo der boden rasch erwärmt wird.

### 2.6.2 schwacher wind (weniger als 10 kt)

er ist ideal, er begünstigt relativ verbreitete thermikentwicklungen mit ziemlich regelmässigem abstand zwischen den einzelnen aufwindzonen. der pilot hat kaum schwierigkeiten, die aufwinde zu finden.

wie im kapitel 1.3.1 und 1.3.2 anhand der windangaben von payerne, kloten und la dôle dargestellt, ist die windstärke eine sehr wichtige grössse, um einerseits die segelflugaussichten generell abzuschätzen wie auch zur unterscheidung von schwachen und guten lagen.

### 2.6.3 mässiger wind (10 - 20 kt)

er verursacht bereits mechanische turbulenz in den bodennahen schichten. dies hat eine störung des normalen thermikaufbaus zur folge und kann die thermik in den bodennahen schichten bereits zerstören. deshalb wird es für den piloten schwierig, höhe zu gewinnen (siehe figur 2.6a).

### 2.6.4 starker wind (mehr als 20 kt)

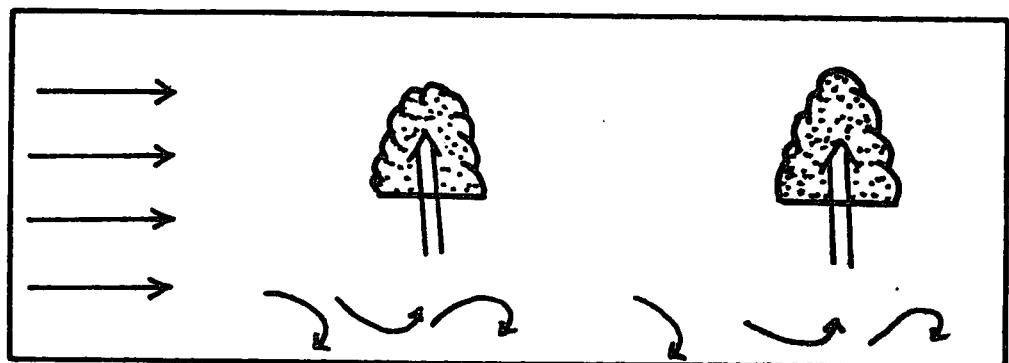
er zerstört zunehmend die thermik in den unteren sichten. die lebensdauer von aufwinden in starkem wind ist sehr kurz (ausgenommen in verbindung mit gut entwickelten cumuli).

### 2.6.5 vertikale windscherung

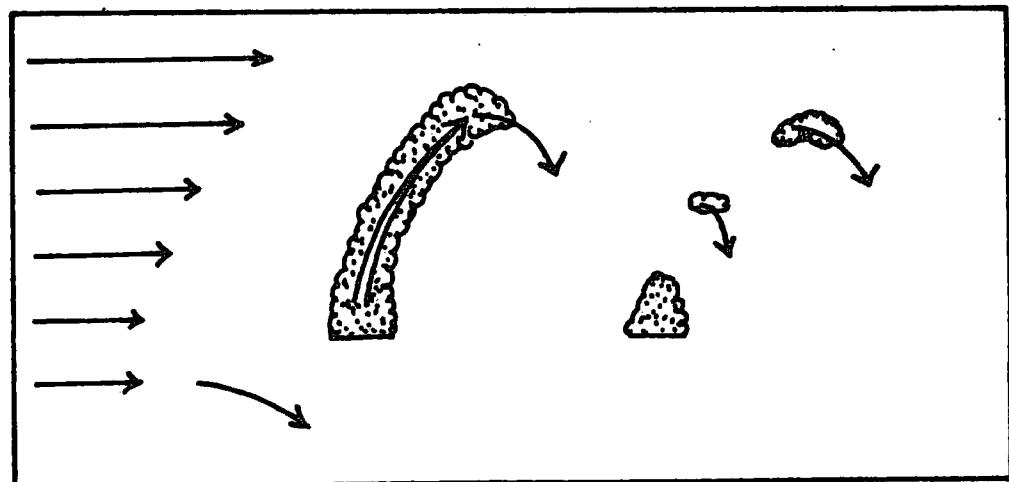
wenn eine thermiksäule durch eine windscherungszone aufsteigt, erleidet sie grosse veränderungen (siehe figur 2.6b). das ausmass hängt ab vom impuls der thermiksäule und der windscherung. starke und grosse aufwinde können auch in schichten mit stärkeren horizontalen windgeschwindigkeiten eindringen, ohne eine grössere ablenkung zu erfahren (figur 2.6c).

die umgebungsluft wird dann über und um die aufwindzone gelenkt, dies kann sogar zu wellenähnlichen erscheinungen in der wolkenfreien luft neben und über der aufwindzone führen (siehe auch kapitel 4).

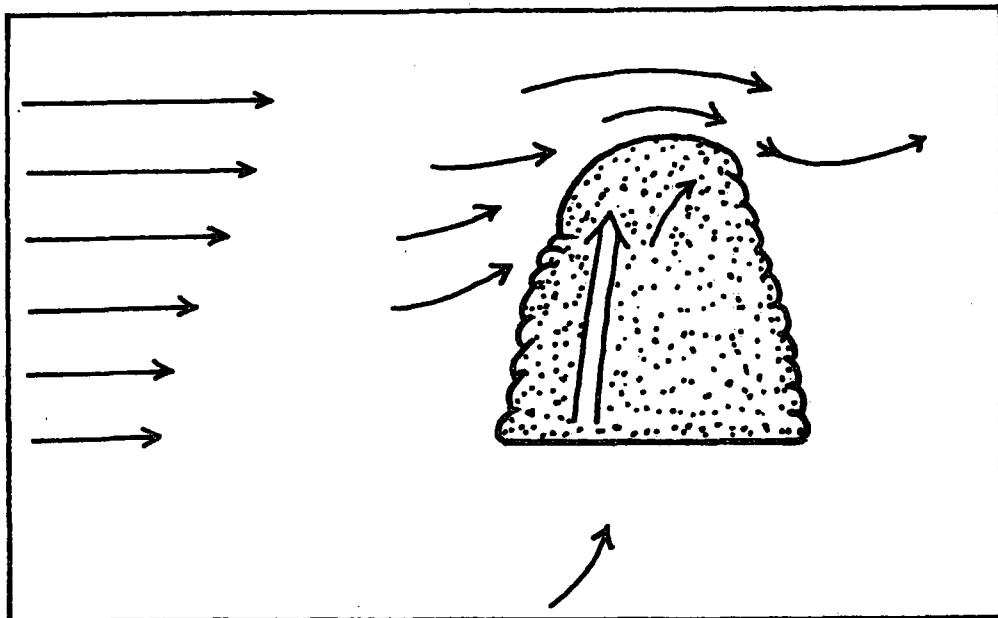
figur 2.6a keine vertikale windscherung, aber turbulenz in den untersten schichten



figur 2.6b vertikale scherung, nur schwache oder enge aufwinde



figur 2.6c vertikale scherung, grosse und starke aufwindzone



## 2.7 einfluss des geländes, der vegetation und der bodenfeuchtigkeit

### 2.7.1 reflektionsvermögen des bodens

bodenoberflächen, die einen grossen anteil der einfallenden sonnenstrahlung reflektieren, können weniger wärme an die luft abgeben als oberflächen, die nur eine geringe menge reflektieren. die extremfälle sind einerseits schnee und eis, wo 65 - 85 % der total verfügbaren sonneneinstrahlung zurückgeworfen wird, andererseits kornfelder mit 10 bis 20 % (wallington 1966).

### 2.7.2 bodenfeuchtigkeit und vegetation

ein grosser teil der einfallenden energie wird zur verdunstung der feuchtigkeit von nassem boden sowie der vegetation verwendet. so kann zum beispiel über bewässertem, bepflanztem gebiet jegliche thermikentwicklung fehlen. dadurch kann sogar ein benachbartes wüstengebiet beeinflusst werden, indem dort noch in einiger distanz vom bewässerten gebiet die thermikentwicklung verhindert wird oder gedämpft ist.

2.7.3 landschaftsstruktur

es wurde beobachtet, dass grosse, einheitliche landschaftsformen weniger thermikquellen aufweisen als verschiedenartiges gelände, wo schlechte und gute thermikquellen abwechseln.

2.7.4 neigung der bodenoberfläche

in unseren breiten ist die einfallende sonneneinstrahlung für einen der sonne zugewandten hang grösser als auf einer ebenen fläche. der expositiunsunterschied wird insbesondere markant im frühjahr während der ausaperung der winterschneedecke.

2.7.5 kombinierte effekte

die in 2.7.2 und 2.7.3 beschriebenen faktoren können beträchtliche unterschide in thermikstärke und -verbreitung hervorrufen, dies auch bei nur geringen höhenunterschieden von 200 - 300 m. das höher gelegene gelände ist oft trockener und die geneigten flächen werden rascher aufgeheizt als die ebenen lagen im talgrund. deshalb kann sich auch über kleinen hügeln thermik bereits einige stunden früher entwickeln als über flachen und feuchten tallagen. ebenso wird die thermik am abend über den nach westen geneigten hängen länger andauern.

diese effekte sind weniger markant nach längeren trockenperioden. nach regenperioden hingegen kann ein pilot unter umständen mehrere stunden über kleinen hügeln segeln, während sich über flachem land überhaupt keine thermik entwickelt.

bekannt ist der effekt, den grössere städte als thermikquellen haben, auch fabrikkamine mit grosser wärmeabgabe sind bei segelfliegern beliebt. schutt- und felsgebiete wie auch kiesgruben sind ebenfalls als sichere thermikquellen bekannt, in extremfällen wurden sogar waldbrände respektive die dadurch ausgelöste thermik bei streckenflügen ausgenutzt, dies allerdings nur von speziell waghalsigen piloten.

## 2.8 thermik in den bergen

im vergleich zu den verhältnissen, wie sie im flachland anzutreffen sind und in den vorangegangenen kapiteln beschrieben wurden, zeigen sich beträchtliche unterschiede.

### 2.8.1 intensität der strahlung

da kaum dunst vorhanden ist, ist die einstrahlung in den bergen oft grösser als im flachland. manchmal sind auch die täler noch im dunstbereich, im extremfall sogar im nebel, während die oberen berghänge in der klaren luft über der inversion liegen.

### 2.8.2 beschaffenheit der bodenoberfläche

schneebedeckte gipfel reflektieren den grössten teil der einfallenden sonnenstrahlung, fels hingegen wird rasch aufgeheizt. da wenig oder keine feuchtigkeit verdunstet werden muss, steht mehr energie zur Verfügung, um die luft zu erwärmen. messungen von rheinhardt (1971) zeigen, dass die luft tagsüber in gebirgigen gegenden einige grade wärmer ist als auf der entsprechenden höhe über dem flachland. diese unterschiede verschwanden erst auf höhen, die 1000 bis 1500 meter über gipfelhöhe lagen.

### 2.8.3 neigung der hänge

gegen die sonne geneigte hänge erhalten einen viel grösseren anteil der verfügbaren sonneneinstrahlung als ebenes gelände, ausgenommen ist die kurze zeit, während der die sonne sehr hoch steht. die thermikentwicklung beschränkt sich deshalb zur hauptsache auf diese, der sonne zugeneigten flächen. es wurde beobachtet, dass die thermik in den bergen

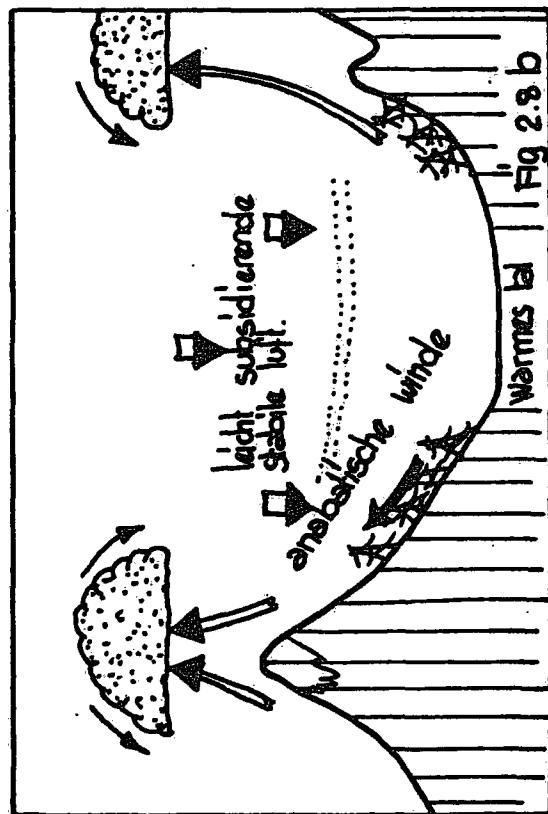
- a) stärker
- b) in engeren schläuchen
- c) mit grösserer häufigkeit und regelmässigkeit
- d) früher am morgen
- e) länger in den abend hinein

auftritt als bei gleichen bedingungen im flachland.

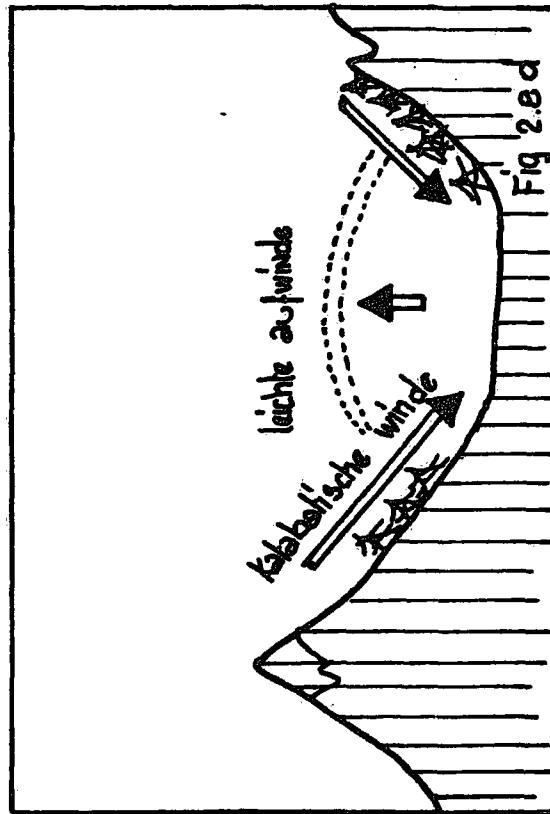
ablauf der thermischen aktivität

figur 2.8a - d

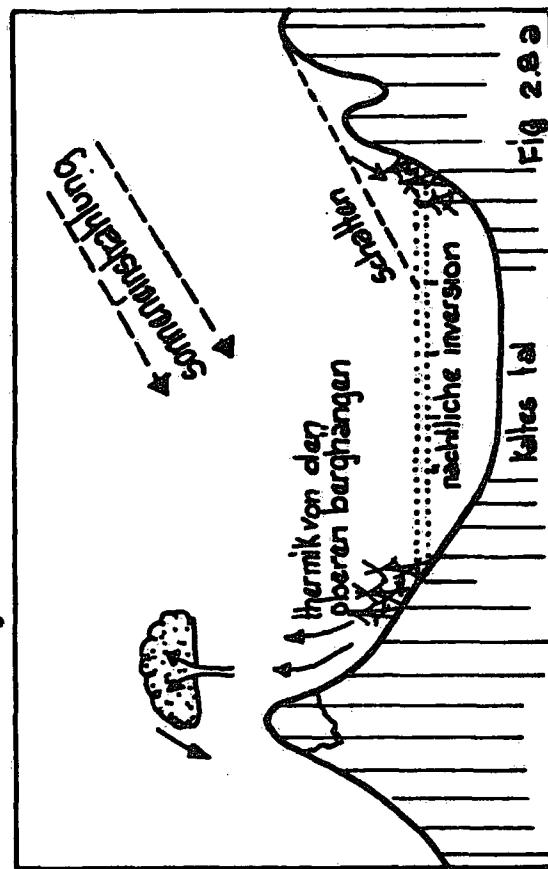
mittags ca 1300 Uhr.



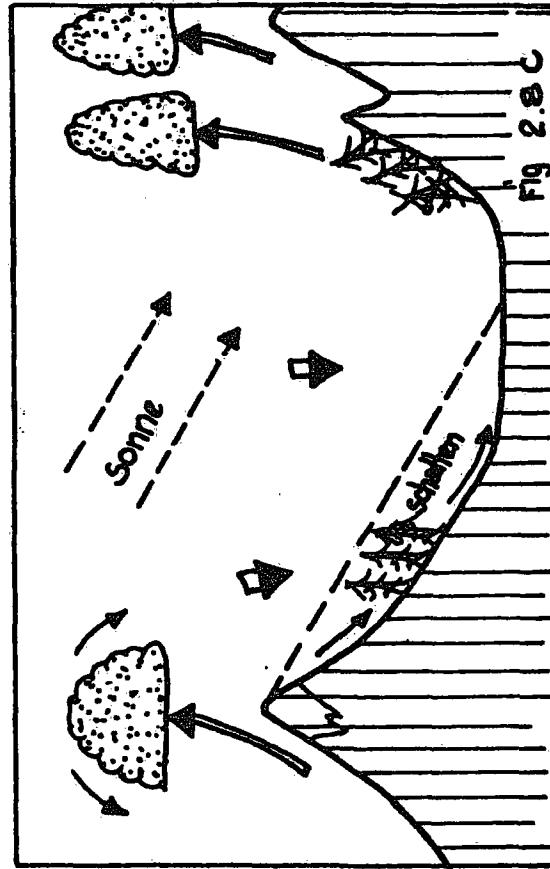
abends ca 2000 Uhr



morgens ca. 0900 Uhr



nachmittags ca 1600 Uhr



etwa um 0900 uhr: fig. 2.8a. an den oberen hanglagen können sich bereits aufwinde entwickeln, während das tal zum teil noch im schatten liegt.

etwa um 1300 uhr: fig. 2.8b. aufwinde können nun auf beiden seiten eines berges entstehen. es stellt sich eine allgemeine strömung vom talboden zu den höher gelegenen gebieten ein. um die abfliessende luft zu ersetzen, entwickelt sich über der talmitte subsidenz, so dass über dem talboden keine aufwinde vorhanden sind.

etwa um 1600 uhr: fig. 2.8c. thermik findet nun an denjenigen hängen statt, die am morgen im schatten lagen.

etwa um 2000 uhr: 2.8d. luft fliesst von den hängen abwärts, da sie sich durch ausstrahlung abkühlt. dies ergibt über dem tal schwache aufwinde. diese aufwärtsbewegung der luft kann werte von etwa 0,5 m/s erreichen und bis zu einer stunde nach sonnenuntergang beobachtet werden. diese schwache aufwindzone liegt nicht genau über dem mittleren teil des tales, sondern ist gegen den zuletzt von der sonne beschienenen hang verschoben.

in diesem schema sind natürlich die komplexen faktoren wie berg- und talwinde, gradientwinde sowie verschiedene kleinräumige konvergenzen nicht berücksichtigt. diese können die thermische aktivität zum teil stark verändern gegenüber dem oben beschriebenen verlauf.

dieses kapitel ist leider sehr kurz ausgefallen, da nur wenig hieb- und stichfeste untersuchungen und prognosenunterlagen über alpensegelflug vorlagen. deshalb versuche ich nun hier, ähnlich wie beim kapitel über das flachland (wozu der jura zum teil gehört), verschiedene elemente zahlenmässig genauer zu erfassen auf grund der angaben von 23 tagen, an denen mässige und gute flüge im alpenraum (hauptsächlich östliche schweizeralpen und österreicheralpen) absolviert wurden.

zunächst noch eine bemerkung zur geringen anzahl fälle:

die verteilung der flüge in bezug auf die erreichten kilometerleistungen waren bei den alpenflügen anders als bei den juraflügen. es zeigte sich, dass die flüge entweder sehr erfolgreich waren oder dann so schlecht, dass gar keine meldungen eingingen. deshalb wurden nur 6 tage gefunden mit schwachen verhältnissen, dagegen 23 mit mässigen und guten lagen.

dies ist aber aus folgendem grund vernünftig:

im jura kann bei sehr guten lagen über dem jura, bei mässigen zeitweise dem jura entlang und bei schwachen lagen, d.h. tiefer wolkenbasis, im angrenzenden mittelland geflogen werden. deshalb sind von schwach bis gut viele zwischenstufen möglich. in den alpen dagegen ist die wolkenbasis entweder unter kammhöhe, was bedeutet, dass keine streckenflüge von längerer dauer absolviert werden können, im anderen fall bei wolkenbasis eindeutig über kammhöhe sind streckenflüge erfolgversprechend und können zu längeren flügen ausgenutzt werden. deshalb haben meine untersuchungen einzelner wetterelemente trotz der geringen anzahl Fälle eine gewisse aussagekraft, da es sich bei der segelflugprognose für die alpenfliegerei um eine art ja/nein prognose handelt.

#### 2.8.4 einige bemerkungen zu den angaben im originaltext 2.8.1 bis 2.8.3

beschaffenheit der bodenoberfläche:

nach erfahrung von segelfliegern kann im frühjahr mit längeren streckenflügen begonnen werden, wenn die täler meist schneefrei geworden sind, d.h. die schneegrenze auf etwa 1500 - 1800 m/m gestiegen ist. dann sind offenbar auch in höheren lagen genügend fels- und schuttflächen aper geworden und als thermikquellen verwendbar. dies führt dann zu enger, örtlich begrenzter, aber sehr starker und relativ leicht zu findender thermik. vor allem w. straub hat gezeigt, dass in den alpen bereits anfangs april streckenflüge mit thermik über 500 und mehr km ausgeführt werden können, wenn die oben beschriebenen voraussetzungen erfüllt sind.

dauer der thermik:

eine statistik der durchschnittlichen startzeiten bei längeren streckenflügen ergab folgendes:

durchschnittl. startzeiten von etwa 65 flügen in birrfeld um 1115h und in schänis um 1025h, die durchschnittl. landzeiten von etwa 45 flügen birrfeld 1630h und in schänis 1740h.

früheste startzeit birrfeld 1010h, schänis 0915h, späteste landung birrfeld 1815h, schänis 1930h. dies zeigt deutlich, dass im alpen- und voralpenraum etwa zwei stunden länger geflogen werden kann als im jura, deshalb ist z.b. ein 500 km-flug bei guten verhältnissen in den alpen einfacher zu erfüllen als im jura oder gar im flachland.

#### 2.8.5 wolkenbasis in den alpen

zur illustration der vielfalt und komplexität der wolkenbasis in den alpen ein Beispiel:

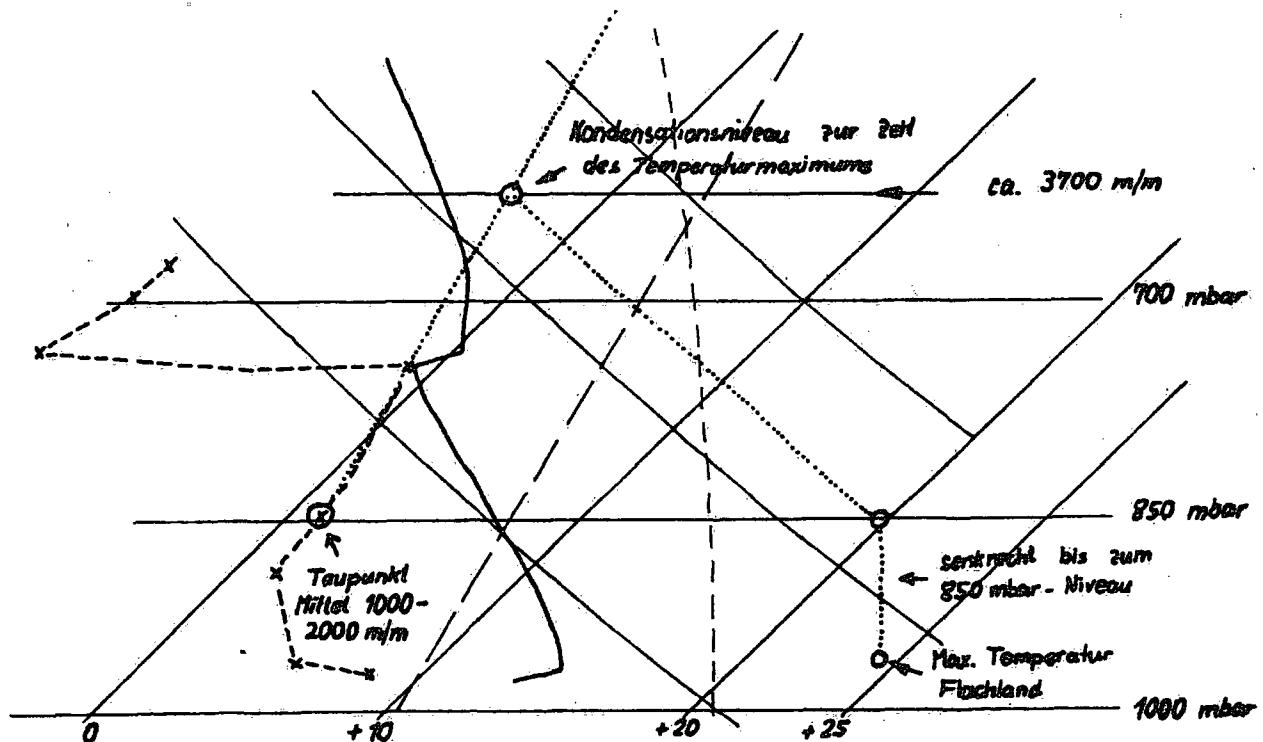
am calanda im bündner rheintal (2900 m hoch) kann folgendes beobachtet werden: der berg besteht in seinem oberen teil (von der waldgrenze an) aus relativ flachen, etwa richtung südosten geneigten alpenweiden, die sich fast bis zum gipfel erstrecken. an tagen mit konvektion bei mässig feuchter luft ist zu beobachten, wie sich die ersten kleinen und etwas zerrissenen cumuli etwa auf oder knapp über gipfelhöhe bilden (ablösungen von den zuerst beschienenen alpweiden). 2 bis 3 stunden

später ist die wolkenbasis auf etwa 2500 m/m, also 300 - 400 m unter dem gipfel zu sehen (ablösungen vom unteren teil des berges und eventuell bereits vom talgrund), erst im weiteren tagesverlauf steigt dann die basis wieder an und erreicht ihr maximum einige hundert meter über gipfelhöhe.

wegen der vielfältigen vegetation und den komplexen orographischen verhältnissen ist klar, dass auch die wolkenbasis in den alpen grosse unterschiede aufweisen muss, was die höhe und auch den tagesgang betrifft. wie bereits beim jura scheint es am sinnvollsten, eine mittlere wolkenbasis für eine bestimmte region vorauszusagen. in den schweizer alpen wurde dies für den alpennordrand versucht, d.h. die berner - innerschweizer - glarner - nord- und mittelbündner alpen. als basis-höhe wurde das 1500 m- oder 850 mbar-niveau verwendet, was etwa der mittleren höhe dieser gebiete entspricht. dies deckt sich ungefähr mit den berechnungen von kuhn/quiby 1976, wo der erwähnte alpenrand etwa im bereich zwischen 1250 und 1750 m/m liegt.

als temperaturmaximum wird die für das flachland vorausgesagte maximal-temperatur senkrecht bis zum 850 mbar-niveau gehoben.

figur 2.8b



dieses beispiel stammt vom 29. mai 1976. an diesem tage wurde beim madrisahorn oberhalb klosters von segelfliegern eine wolkenbasis von 3600 m/m festgestellt. gleichentags erreichte bei stuben am arlberg die wolkenbasis 3100 m/m, hier allerdings ist die maximaltemperatur

etwas tiefer gewesen als im mittelland. dieses Beispiel zeigt, dass mit dieser methode immerhin ein hinweis auf die zu erwartende wolkenuntergrenze zur verfugung steht.

m.e. reinhardt hat mit flugzeugsondierungen festgestellt, dass in den alpentälern (st. johann im tirol) am mittag die luft bis etwa 5 grad wärmer ist als über dem flachland (sonde von münchen), erst etwa bei 600 mbar verschwindet der tagesgang. diesen inneralpinen wärmezuschlag hat bereits h. brockmann-jerosch 1919 statistisch erfasst. wenn man diesen wärmezuschlag zur tagesamplitude addiert, die auf 1500 m/m bei maximaler einstrahlung etwa 5 - 8 grad beträgt, dann kommt man auf einen totalwert von 10 - 12 grad. dies erklärt, weshalb die naive methode, bei der das temperaturmaximum, das für das mittelland vorausgesagt wird, senkrecht auf 1500 m/m gehoben wird (entsprechend einer temperaturabnahme von 4 1/2 grad pro 1000 m) einen einigermassen vernünftigen wert ergibt. als taupunkt für die basisberechnung wird das mittel der schicht von etwa 1000 - 2000 m/m verwendet.

der grund, dass solche versuche zur wolkenbasisbestimmung in den alpen überhaupt gemacht werden, liegt darin, dass (wie beim jura) sonst oft mit den üblichen berechnungen für das flachland in den alpen keine cumuli zu erwarten wären. häufig aber entwickeln sich in den alpen cumuli, wenn im mittelland und zum teil auch im jura überhaupt keine quellwolken auftreten.

w. straub nennt als optimal für eine günstige segelflugsituation in den alpen eine taupunktsdifferenz auf 850 mbar von etwa 8 grad, dies entspreche dann bei guter einstrahlung einer wolkenbasis von 500 - 800 m über den höchsten bergspitzen. wie im nächsten kapitel gezeigt wird, wird dieser wert von 8 grad auch in meiner zusammenstellung bestätigt.

leider lagen aus dem alpenraum zu wenig rapporte über die wolkenbasis vor, um die methode der basis-bestimmung in den alpen zahlenmässig zu überprüfen. gespräche mit segelfliegern aber haben ergeben, dass solche voraussagen brauchbar sind und geschätzt werden.

#### 2.8.6 überprüfung einiger meteorologischer elemente, die für den alpensegelflug wichtig sind

krümmung, richtung und windstärke nördlich der alpen 00z

krümmung	850 mbar	700 mbar	500 mbar
antizyklonal	18 Fälle (79%)	17 Fälle (74%)	16 Fälle (69%)
zyklonal	1 Fall (4%)	1 Fall (4%)	0
indifferent	0	2 Fälle (9%)	2 Fälle (9%)
unbestimmbare	4 Fälle (17%)	3 Fälle (13%)	5 Fälle (22%)
variabel			

richtung

ne - se	14 Fälle (61%)	8 Fälle (35%)	6 Fälle (26%)
s - sw - w	1 Fall (4%)	8 Fälle (35%)	4 Fälle (17%)
nw - n	2 Fälle (9%)	4 Fälle (17%)	8 Fälle (35%)
unbestimmbare	6 Fälle (26%)	3 Fälle (13%)	5 Fälle (22%)
variabel			

stärke mittel	8,5 kt	8 kt	12 kt
------------------	--------	------	-------

bei den guten lagen in den alpen handelt es sich also vorwiegend um antizyklonale, schwachwindige lagen, oft auch mit unbestimmbarer oder variabler richtung.

taupunktsdifferenzen nächste repräsentative sonde 00z

	850 mbar	700 mbar	500 mbar
0 - 5 grad	2 fälle ( 9%)	5 fälle (22%)	0
6 - 10 grad	15 fälle (65%)	7 fälle (30%)	5 fälle (22%)
11 - 20 grad	6 fälle (26%)	9 fälle (39%)	16 fälle (69%)
über 20 grad	0	2 fälle ( 9%)	2 fälle ( 9%)
mittel	9 grad	12 grad	15 grad
extremwerte			
minimum	4 grad	2 grad	8 grad
maximum	13 grad	25 grad	25 grad

günstige voraussetzungen für eine gute lage in den alpen ist auf 850 mbar eine taupunktsdifferenz von 8 bis 9 grad, was für die bildung von cu in geeigneter menge optimal ist (unter 5 grad zu feucht, zu viele cu mit zu tiefer basis, über 12 grad zu trocken, keine cu mehr). auf 500 mbar ist grosse trockenheit günstig. dies verhindert eine zu starke entwicklung der cumuli.

druckdifferenz süd - nord (locarno - zürich) qnh 06z

druckdifferenz nord - süd	± 1 mbar	in 9 fällen (39%)
überdruck nord	1 - 2 mbar	in 1 fall ( 4%)
überdruck süd	1 - 4 mbar	in 13 fällen (57%)
mittel	1,3 mbar	überdruck süd

extremwerte

maximum überdruck süd	3,7 mbar
maximum überdruck nord	2,0 mbar

aus diesen werten ist klar ersichtlich, dass bei guten lagen die druckdifferenz über den alpen ausgeglichen sein sollte, nordstaugradienten haben allgemein am alpennordrand eine etwas tiefere wolkenbasis zur folge und sind daher ungünstig.

luftdruck kloten qff 06z

1017 - 1023 mbar	19 fälle (83%)
unter 1017 mbar	3 fälle (13%)
über 1023 mbar	1 fall ( 4%)
mittelwert	1019,7 mbar
extremwerte maximum	1023,4 mbar
minimum	1016,1 mbar

werte, die höher sind als 1017 - 1018 mbar führen zunehmend zu einer schichtung, die gewitterentwicklungen erschweren, wie j. lehmann festgestellt hat. deshalb ist der bereich um 1020 mbar am besten, um die für den alpensegelflug günstigste schichtung zu ermöglichen. bei werten über 1023 mbar ist dann die subsidenz offenbar zu gross, um noch wesentliche cumulusentwicklung zu gestatten.

24-stündige änderung qff kloten 06z

±3 mbar	20 fälle (87%)
über +3 mbar	0
über -3 mbar	3 fälle (13%)

dies macht klar, dass bei guten lagen grossräumige wetteränderungen ungünstig sind und sich bei guten lagen die wettersituation nicht oder nur langsam ändern sollte. dies ist der fall, wenn sich die alpen in der nähe eines hochdruckgebietes (500 mbar) befinden.

3-stündige druckänderung jungfraujoch 06z

±0,2 mbar	14 fälle (61%)
über +0,2 mbar	1 fall ( 4%)
über -0,2 mbar	8 fälle (35%)
mittelwert	-0,2 mbar
maximum (+)	+0,4 mbar
minimum (-)	-0,8 mbar

gleichbleibender oder leicht fallender luftdruck um 06z auf dem jungfraujoch ist für gute lagen günstig. ungünstig ist vor allem mässiger bis starker anstieg, der auf starke warmluftadvektion oder subsidenz schliessen lässt.

24 h änderung der höhe der 700 mbar-fläche jungfraujoch 06z

±25 m	15 fälle (68%)
über +25 m	6 fälle (27%)
über -25 m	1 fall ( 5%)
mittel	+6,1 m
minimum	-34 m
maximum	+45 m

auch hier also kleine änderungen, wenn schon eine änderung, dann ein leichter anstieg.

absolute topographie payerne 500 mb 00z

abweichung vom pentadenmittel nach kirchhofer

±4 dam	5 fälle (22%)
über +4 dam	18 fälle (78%)
unter -4 dam	0
mittelwert	+7,4 dam
minimum	-2 dam
maximum	+14 dam

24-stündige änderung gegenüber dem vortag 00z

±2 dam	12 fälle (52%)
über +2 dam	8 fälle (35%)
über -2 dam	3 fälle (13%)
mittelwert	+1,3 dam
minimum	-4 dam
maximum	+11 dam

um oder etwas über dem mittelwert liegende 500 mbar-höhe sowie nur kleine 24-stündige änderungen ergeben eine grössere chance für gute lagen als z.b. mässig unter dem mittel oder stark über dem mittel liegende werte (83% der Fälle mit guten Lagen zwischen -2 und +6 dam). die ebenfalls geprüfte relative topographie brachte die gleichen resultate.

die labilitätsverhältnisse in den unteren schichten wurden durch folgende vergleiche geprüft, nachdem sich der boyden-index wegen zu grosser streuung als ungeeignet erwies:

temperaturdifferenz säntis (2500 m) - jungfraujoch (3573 m) um 06z

0 - 5 grad	3 Fälle (14%)
6 - 9 grad	17 Fälle (77%)
10 - 12 grad	2 Fälle (9%)
mittel	7,4 grad
minimum	5 grad
maximum	12 grad

temperaturdifferenz hohenpeissenberg (10962) 977 m - zugspitze (10961) 2960 m 06z

10 - 11 grad	2 Fälle (9%)
12 - 15 grad	20 Fälle (91%)
mittel	13 grad
minimum	10 grad
maximum	15 grad

diese beiden kriterien können relativ eng gefasst werden und zeigen deutlich, dass ausserhalb der angegebenen bereiche von 6 bis 9, resp. 12 bis 15 grad die chance auf eine gute Lage viel kleiner ist.

der mittelwert von ca. 7,5 grad der temperaturdifferenz säntis - jungfraujoch entspricht einer temperaturabnahme von 0,7 grad/100 m, der wert 13,0 der differenz hohenpeissenberg - zugspitze 0,65 grad/100 m. dies entspricht ungefähr dem feuchtadiabatischen gradienten, was bei guten segelfluglagen vernünftig ist. wie erfahrungen im wetterdienst gezeigt haben, sind die unterschiede radiosonde - bergstationen (kamm- und gipfellagen) um 06z gering, so dass es sich lohnt, festzustellen, ob die mitternachtssonde noch repräsentativ ist oder nicht.

wind payerne 500 mbar 00z

bis 10 kt	7 Fälle (31%)
11 - 20 kt	13 Fälle (57%)
über 20 kt	3 Fälle (13%)
mittelwert	13,5 kt
maximum	26 kt

windrichtung

nw	9 Fälle (39%)
ne	6 Fälle (26%)
se	3 Fälle (13%)
sw	5 Fälle (22%)

es ist also wichtig, dass im 500 mbar-niveau die winde schwach sind, da ja die flughöhe in den alpen zum teil 4000 m/m übersteigen kann (z.b. im engadin).

die windrichtung zeigt nur ein leichtes übergewicht der lagen mit nw - ne.

#### wind santis 06z

##### windstärke

bis 10 kt	19 fälle (83%)
über 10 kt	4 fälle (17%)
mittelwert	5,6 kt
maximum	21 kt

##### richtung

nw	2 fälle ( 9%)
ne	2 fälle ( 9%)
se	3 fälle (13%)
sw	12 fälle (52%)
calm	4 fälle (17%)

wie bereits bei der station la dôle für den jura gezeigt wurde, ist für lange streckenflüge der wind ein wichtiger faktor und sollte in derjenigen schicht, wo hauptsächlich geflogen wird, 10 - 12 kt nicht übersteigen.

#### sicht und bewölkung santis 06z

##### sicht

über 20 km	21 fälle (92%)
über 15 km	1 fall ( 4%)
nebel	1 fall ( 4%)

##### gesamtbewölkung

0 - 3 achtel	20 fälle (87%)
4 - 8 achtel	3 fälle (13%)

ein guter segelflugtag ist sehr viel wahrscheinlicher, wenn am morgen auf dem santis gute sicht herrscht und wenig wolken vorhanden sind. dann ist normalerweise bereits die nächtliche ausstrahlung und damit auch die vormittägliche einstrahlung gewährleistet. die nächtliche ausstrahlung ist deshalb wichtig, weil dann bei einem sonnigen vormittag eine gleichmässige aufheizung der verschiedenen thermikquellen erfolgen kann. wenn aber die nächtliche abkühlung fehlt, stellt sich nach einem sonnigen vormittag eine zu labile schichtung ein, was entweder zu überentwicklung oder dann zu ausbreitungen an einer inversion führen kann.

#### niederschlag alpen

vor einem guten segelflugtag fiel in der periode 18 - 06z in 21 fällen (91%) kein niederschlag im östlichen alpenraum, in 2 fällen (9%) fiel örtlich geringer regen. in der periode 06 - 18z des vortages trat in keinem fall verbreitet regen auf.

starke niederschläge am vortrag oder in der nacht sind deshalb ungünstig, weil dann am vormittag eine grössere energiemenge als üblich zur verdunstung aufgewendet werden muss (nasser boden) und damit nicht zur aufheizung von thermikquellen zur verfüzung steht. zudem ist oft die wolkenbasis zumindest zu beginn relativ tief.

#### sperrsichten

im gegensatz zum jura, wo die cu-entwicklung am häufigsten durch eine inversion gebremst wird, ist bei den guten lagen in den alpen die überentwicklung öfters durch starkes abtrocknen oder eine stabile schicht, seltener hingegen durch eine inversion verhindert. da aber die werte von flachlandsonden nicht einfach auf den alpenraum übertragen werden können, ist für die entscheidung überentwicklung ja oder nein am ehesten die taupunktsdifferenz im 500 mbar-niveau heranzuziehen.

2.9 wolkenstrassen

wolkenstrassen nennt man eine sehr nützliche form organisierter konvektion. sie können sich über mehrere hundert kilometer erstrecken, wie satellitenbilder eindrücklich zeigen. sie bestehen aus cumulusbändern, die sehr gleichmässig angeordnet sind. figur 2.9a zeigt im schnitt die formen der vertikalbewegungen. dieses system stellt die am wenigsten energie verbrauchende art von vertikalbewegung dar, das heisst das windprofil muss gekrümmmt sein. in fällen mit geringer feuchtigkeit in der konvektionsschicht können sich aufwindstrassen entwickeln ohne cumuli als sichtbare zeichen.

2.9.1 voraussetzung für die bildung von wolkenstrassen

- a) mässige winde in bodennähe
- b) windrichtung praktisch konstant innerhalb der konvektionsschicht
- c) begrenzung der konvektionsschicht durch eine inversion oder stabile schicht, normalerweise zwischen 1,5 und 2 km über grund
- d) windprofil gekrümmmt (siehe figur 2.9.b). windstärke mit der höhe zunehmend bis zu einem maximum von mindestens 20 kt in der mitte oder der oberen hälften der konvektionsschicht, danach gleiche oder leicht abnehmende windstärke.

2.9.2 abstand der wolkenstrassen

der abstand zwischen zwei benachbarten strassen entspricht ungefähr drei mal der höhe der inversion oder stabilen schicht. cumulusstrassen sind bis auf wenige grade parallel der windrichtung in der konvektionsschicht angeordnet. krümmungen in der strömung sind meist auch durch gleich gekrümmte wolkenstrassen gekennzeichnet. eine einzelne linie von cumuli erstreckt sich oft mehr als 100 km windabwärts, ein ganzes gebiet mit wolkenstrassen kann sich bis 1000 km weit hinziehen auf einer breite bis über 500 km. auf hochauflösten satellitenbildern wurden schon bis 100 praktisch parallele cumuluslinien ausgezählt.

### 2.9.3 synoptische situation

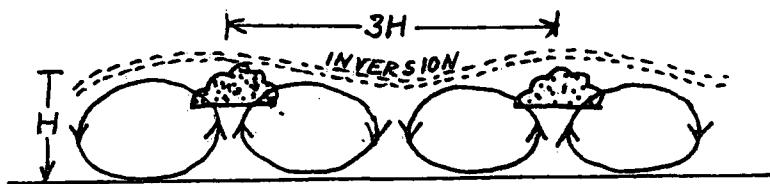
die synoptischen bedingungen für die horizontale druck- und temperaturverteilung innerhalb der konvektionsschicht sind die folgenden (siehe figur 2.9c):

die richtung der isothermen muss, verglichen mit der richtung der bodenisobaren, kaltluftadvektion zeigen. daraus resultiert eine thermische windkomponente, die den druckgradienten in der höhe verringert. auf diese weise ist die forderung nach einem gekrümmten windprofil erfüllt.

bei uns kommen wolkenstrassen bei bise zwar auch vor, vor allem im bereich des juras. sie sind aber nicht reine strassen im obigen sinne, sondern mindestens zum teil auch durch die orographie beeinflusst. wichtig sind die wolkenstrassen vor allem für sehr weite europaflüge wie z.b. die rekordflüge von h.w. grosse, der von lübeck nach biarritz flog und dabei auf grossen strecken wolkenstrassen benutzt haben konnte.

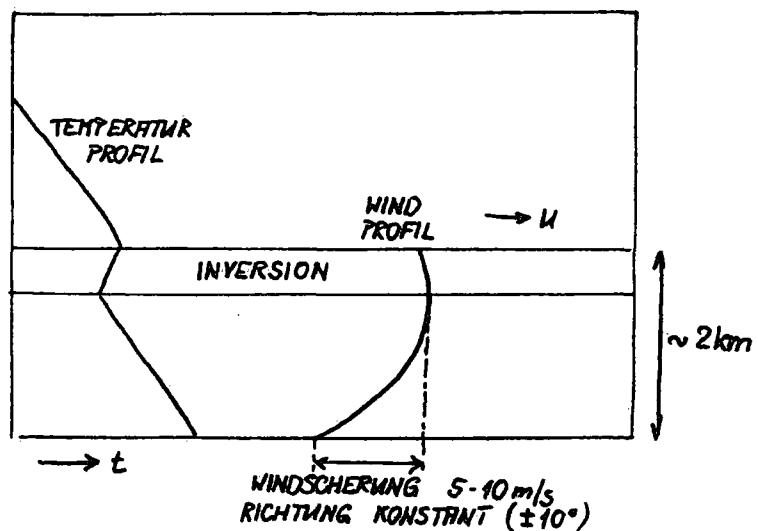
figur 2.9.a

wolkenquerschnitt  
mit vertikal-  
zirkulation



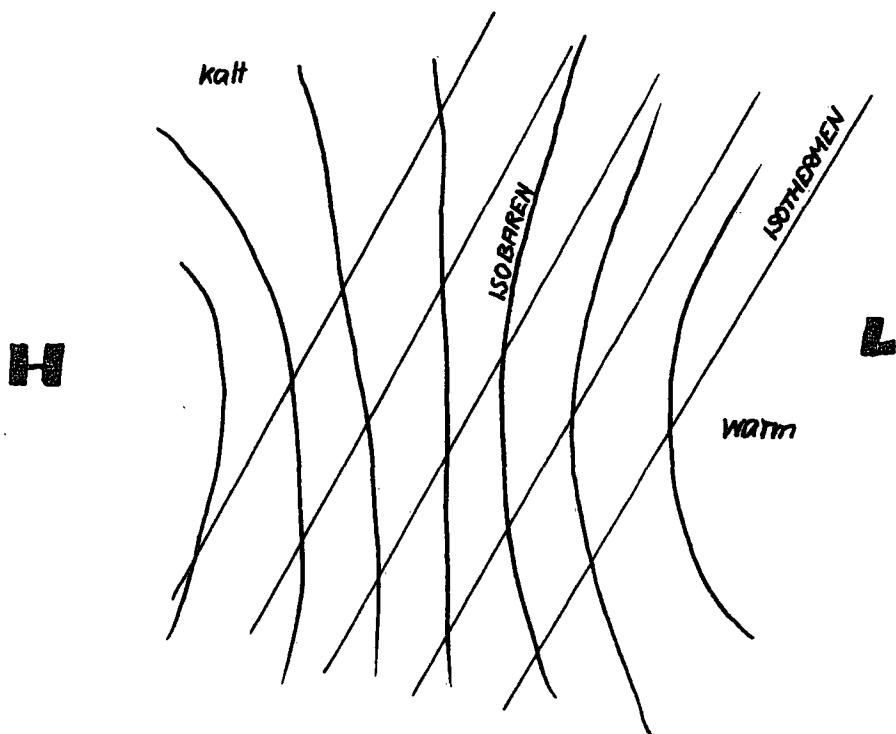
figur 2.9b

temperatur- und  
windgeschwindigkeits-  
profil für wolken-  
strassen



figur 2.9c

bodenisobaren und isothermen  
(repräsentativ für die ganze  
konvektionsschicht), die für  
die bildung von wolkenstrassen  
günstig sind.



3. checklisten

aus der zusammenfassung aller untersuchungen der verschiedenen meteologischen elemente wurde nun versucht, eine checkliste zu erstellen.

die auswahl der checkpunkte erfolgte in dem sinne, dass alle benötigten angaben am morgen um 0630z vorliegen und damit für die segelflugprognose, die auf tonband verbreitet wird, noch verwendet werden können. die bereiche respektive grenzwerte wurden so gewählt, dass die werte der mässigen und guten lagen etwa zu 80 - 90 % darin enthalten waren.

dies bedeutet, dass diese limiten nahezu notwendige bedingungen bezüglich der einzelnen elemente definieren, die für gute lagen erfüllt sein müssen. wenn nun alle bedingungen erfüllt sind (keine minuspunkte), dürfen gute segelflugverhältnisse erwartet werden. sind einzelne punkte nicht erfüllt, ist je nach anzahl minuspunkte mit weniger guten oder gar schlechten verhältnissen zu rechnen. die zuordnung der minuspunkte zu den flugverhältnissen wurde für die region jura - schwarzwalld aus 57 tagen des jahres 1976 wie folgt ermittelt:

0 - 5 minuspunkte	gute segelflugverhältnisse wahrscheinlich
6 - 10 minuspunkte	mässige verhältnisse
über 10 minuspunkte	ungünstig für streckenflüge

zur erinnerung:

als eine gute lage wurde definiert ein tag mit mindestens einem streckenflug über 500 km oder mehr, respektive ein tag mit zahlreichen flügen über 300 km.

mässige lage:

streckenflüge über 200 km, vereinzelt bis 300 km

ungünstig oder schwach:

keine streckenflüge, streckenflüge über eine distanz von weniger als 200 km

für die region voralpen - alpen wurde aus 29 tagen folgender grenzwert festgelegt:

0 - 5 minuspunkte	gute verhältnisse (zahlreiche flüge über 300 km, mindestens ein flug über 500 km) wahrscheinlich
6 und mehr minuspunkte	gute lage unwahrscheinlich

eine erklärung, warum für die alpenregion nur ein grenzwert festgelegt werden konnte, wurde auf seite 53/54 gegeben.

3.1

checkliste jura + schwarzwald

+ erfüllt  
- nicht erfüllt

krümmung, richtung und stärke nördlich der alpen 00z

850 mbar krümmung	nicht zyklonal	.....
richtung	290-360-140 grad oder variabel	.....
stärke	0 - 15 kt	.....
700 mbar stärke	0 - 12 kt	.....
500 mbar krümmung	nicht zyklonal	.....
wind payerne 00z		
500 mbar richtung	280-360-110 grad	.....
stärke	0 - 25 kt	.....

taupunktsdifferenz nächste  
repräsentative radiosonde 00z

850 mbar	4 - 11 grad	.....
700 mbar	> 11 grad	.....

absolute topographie payerne 00z

500 mbar abweichung vom pentaden-		
mittel	-3 bis +9 dam	.....
24-stündige änderung	±3 dam	2x.....

sperrsicht (nächste repr. sonde 00z)

inversion, stabile schicht, ab-		
trocknen von mehr als 12 grad	2000 - 3200 m/m	.....

jungfraujoch 06z

3-stündige druckänderung	+0,2 bis -0,5 mbar	.....
--------------------------	--------------------	-------

luftdruck kloten 06z, qff

1017 - 1024 mbar	3x.....
------------------	---------

wind säntis 06z

≤ 12 kt	.....
---------	-------

wind la dôle 06z

≤ 13 kt	3x.....
---------	---------

sicht la dôle 06z

≥ 20 km	.....
---------	-------

gesamtbewölkung la dôle 06z

≤ 3 achtel	2x.....
------------	---------

regen jura 18 - 06z

höchstens vereinzelt oder kein regen	.....
---	-------

06 - 18z vortag

kein verbreiteter niederschlag	.....
-----------------------------------	-------

total minuspunkte .....

punktwertung: ein minuspunkt wird für dasjenige kriterium gegeben, das ausserhalb des angegebenen bereiches resp. grenzwertes liegt.

doppelte gewichtung: gesamtbewölkung la dôle 06z

dreifache gewichtung: qff kloten 06z und wind la dôle 06z

pentadenmittel der absoluten topographie 00z siehe seite 101  
(aus w. kirchhofer, abgrenzung von wetterlagen im zentralen alpenraum).

### 3.2 checkliste voralpen und alpen

wie aus den vorangegangenen kapiteln hervorgeht, besteht ein grosser unterschied zwischen guten segelfluglagen im jura und in den alpen. deshalb mussten für die checkliste voralpen und alpen andere grenzwerte und zum teil auch andere elemente herausgesucht werden.

+ erfüllt  
- nicht erfüllt

krümmung, richtung und stärke nördlich der alpen 00z

850 mbar krümmung	nicht zyklonal	.....
richtung	360 - 150 grad oder variabel	
stärke	0 - 15 kt	
700 mbar krümmung	nicht zyklonal	.....
stärke	0 - 12 kt	
500 mbar krümmung	nicht zyklonal	.....
wind payerne 00z		
500 mbar richtung	280-360-090 grad	.....
stärke	0 - 20 kt	.....
taupunktsdifferenz nächste repräsentative radiosonde 00z		
850 mbar	6 - 12 grad	.....
500 mbar	$\geq$ 10 grad	.....
absolute topographie payerne 00z		
500 mbar abweichung vom pentaden- mittel	+4 bis +11 dam	.....
24-stündige änderung	-2 bis +4 dam	.....

jungfraujoch 06z

3-stündige druckänderung	+0,2 bis -0,8 mbar	.....
24-stündige änderung der höhe der 700 mbar-fläche	-20 bis +40 dam	.....

luftdruck kloten 06z, qff

24-stündige änderung (06z)	$\pm$ 3 mbar	.....
----------------------------	--------------	-------

druckdifferenz locarno - zürich

06z, qnh	-1 bis +3,1 mbar	.....
----------	------------------	-------

wind santis 06z

richtung	180-290 grad oder calm	.....
stärke	$\leq$ 10 kt	

sicht santis 06z

	$\geq$ 20 km	.....
--	--------------	-------

gesamtbewölkung santis 06z

	$\leq$ 3 achtel	.....
--	-----------------	-------

temperaturdifferenz santis -

jungfraujoch 06z	6 - 9 grad	.....
------------------	------------	-------

temperaturdifferenz hohenpeissenberg

(10962) - zugspitze (10961)	12 - 15 grad	.....
-----------------------------	--------------	-------

niederschlag alpen 18 - 06z

06 - 18z vortag	höchstens vereinzelt oder kein regen	2x.....
-----------------	---	---------

kein verbreiteter  
niederschlag

2x.....

total minuspunkte

.....

bewertung wie bei der checkliste jura + schwarzwald, d.h. - bedeutet kriterium nicht erfüllt resp. ausserhalb des angegebenen bereichs oder grenzwertes.

bei zwei oder 3 kriterien pro minuspunkt wie z.b. wind santis entsprechenden bruchteil eines minuspunktes werten (z.b. 1/2, 1/3 etc.). doppelte gewichtung niederschlag alpen.

### 3.3 erfolgskontrolle der checklisten

die checkliste jura + schwarzwald ergab anhand von 57 fällen des jahres 1976 folgendes resultat:

42 Fälle (73%) richtig

13 Fälle (23%) halbrichtig (z.b. mässig statt gut, schwach statt mässig)  
2 Fälle (4%) falsch

die 29 Fälle, bei denen die checkliste alpen + voralpen angewendet werden konnte, verteilten sich wie folgt:

26 Fälle (90%) richtig

3 Fälle (10%) falsch, wobei alle drei Fälle nur knapp unter resp. über der limite lagen.

diese checklisten wurden 1977 im wetterdienst regelmässig verwendet. da 1976 ein ausgesprochen gutes segelflugjahr war, kann man es als einen glückssfall bezeichnen, dass 1977 dann ein schlechtes jahr für die segelflieger war. die zahl der Fälle in den kategorien schwach - mässig - gut glied sich so nämlich etwas aus.

1976 total 57 tage

tatsächliche verhältnisse	prognose gemäss checkliste jura - schwarzwald			richtig 42 (73%)	halb 13 (23%)	falsch 2 (4%)
	ungünstig	mässig	gut			
ungünstig	9 (16%)	2 (3,5%)	2 (3,5%)	richtig 42 (73%)	halb 13 (23%)	falsch 2 (4%)
mässig	3 (5%)	16 (28%)	3 (5%)			
gut	0	5 (9%)	17 (30%)			

1977 total 70 tage

tatsächliche verhältnisse	ungünstig	mässig	gut	richtig 56 (80%)	halb 13 (19%)	falsch 1 (1%)
ungünstig	37 (53%)	7 (10%)	1 (1%)	richtig 56 (80%)	halb 13 (19%)	falsch 1 (1%)
mässig	0	12 (17%)	4 (6%)			
gut	0	2 (3%)	7 (10%)			

das gesamtresultat der checkliste, wie sie jetzt vorliegt, lautet

1976/1977 total 127 tage

tatsächliche verhältnisse	ungünstig	mässig	gut	richtig 98 (77%)	halb 26 (21%)	falsch 3 (2%)
ungünstig	46 (36%)	9 (7%)	3 (2%)	richtig 98 (77%)	halb 26 (21%)	falsch 3 (2%)
mässig	3 (2%)	28 (22%)	7 (6%)			
gut	0	7 (6%)	24 (19%)			

das entsprechende resultat für den check voralpen - alpen lautet:

1976 total 29 fälle

verhältnisse	Prognose	
	nicht gut	gut
nicht gut	5 (17%)	1 (3%)
gut	2 (7%)	21 (73%)

1977 total 23 fälle

verhältnisse

nicht gut	14 (60%)	1 (4%)
gut	2 (10%)	6 (26%)

1976/77 total 52 fälle

verhältnisse	prognose	
	nicht gut	gut
nicht gut	19 (36%)	2 (4%)
gut	4 (8%)	27 (52%)

es ist beruhigend, festzustellen, dass der check also nicht "wetterabhängig" ist, da die resultate zweier ganz verschiedener jahre ähnlich ausgefallen sind.

auch scheint es von vorteil, dass die checks eher etwas zu gute verhältnisse voraussagen, da die segelflieger ein verpasster guter tag mehr ärgert als ein nicht eingetroffener oder nur zum teil guter tag.

die kategorie schwach beim check jura + schwarzwalde wurde ergänzt durch 16 Fälle, bei denen an den bulletinstationen im jura und am jurasüdfuss im durchschnitt weniger als 1 stunde sonne gemessen wurde. in diesen Fällen ist mit grosser Sicherheit anzunehmen, dass keine Streckenflüge über 200 km möglich sind.

aufgrund der bisherigen erfahrungen sind in diesen beiden checks folgende schwächen enthalten:

am Anfang und am Schluss der saison (April und September) Vorsicht: Änderungskriterien (500 mbar, Boden etc.) werden etwas zu oft überschritten, da zu dieser Zeit die Frontenaktivität noch sehr ausgeprägt ist (April).

in den Hauptmonaten Mai - Juli Vorsicht bei plötzlich einsetzender warmluftadvektion von Südwesten her im Laufe des Tages. Die dafür vorgesehenen Kriterien (Windrichtung, absolute topographie 500 mbar resp. 24-stündige Änderung, 3-stündige Druckänderung Jungfraujoch) können sich bei diesem Spezialfall nach 06Z rasch ändern.

Wie bereits in der Einleitung erwähnt, sollte es mit dieser Checkliste möglich sein, in der Segelflugprognose einen Hinweis einzuführen, in welcher Region Distanzflüge möglich sind und im Falle der Region Jura - Schwarzwalde auch, über welche Distanz ein Streckenflug etwa zu planen ist. Im übrigen hat diese Checkliste natürlich den Vorteil, vom Prognostiker unabhängig zu sein (Alter, Erfahrung etc.).

4. jahreszeitliche unterschiede der anzahl günstiger segelflugwetterlagen

manfred kreipl hat in seinem buch "mit dem wetter segelfliegen" die anzahl flüge zusammengestellt, die mindestens ein 300 km-dreieck oder 500 km-distanzflüge richtung sw umfassen.

aus meinen unterlagen liess sich eine solche statistik nur für die 6 jahre 1972 - 1977 erstellen, wobei erst noch nicht alle jahre anspruch auf vollständigkeit erheben können. da sich aber der raum deutschland nicht grundlegend von den verhältnissen im raum jura - mittelland unterscheidet, haben die zahlen von kreipl auch für unser land gültigkeit, allerdings mit einigen kleinen modifikationen.

		anzahl günstiger lagen in deutschland (14 jahre)	anzahl günstiger lagen in der schweiz (6 jahre)
april	1. - 10.	29	3
	11. - 20.	27	10
	21. - 30.	31	5
mai	1. - 10.	14	6
	11. - 20.	46	8
	21. - 30.	41	12
juni	1. - 10.	31	7
	11. - 20.	27	7
	21. - 30.	25	2

trotz der geringen anzahl jahre, die für die schweiz zur verfügung stehen, sind folgende punkte auffällig:

die erste spitze in der zweiten april-dekade, die in deutschland fehlt, dort dafür dann der sehr markante abfall in der 1. mai-dekade. in deutschland ausgeglichene spitzenzeit 10. - 30. mai, in der schweiz ausgeprägte spitze in der 3. mai-dekade.

die wesentlichste aussage von kreipl, nämlich optimale segelflugaussichten in der zweiten und dritten mai-dekade, könnte bei uns so formuliert werden: günstige aussichten in der zweiten april-dekade, dann in der zweiten mai- und besonders in der dritten mai-dekade.

für die alpen ist die situation völlig anders. dort sind lange streckenflüge im april und mai selten, die grösste zahl wird im juni und juli erreicht, also dann, wenn im jura die saison abflaut.

## 5. prognosen für den wellensegelflug

horizontale luftströmungen zeigen oft wellenähnliche schwingungen, wo die vertikalgeschwindigkeit der luft grösser ist als die sinkgeschwindigkeit eines segelflugzeugs. ein segelfluggpilot kann nun höhe gewinnen, indem er in eine gegend fliegt, wo er in die aufwindseite einer welle gelangt.

die stärksten wellen werden auf der leeseite von gebirgen gefunden, diese werden als leewellen bezeichnet (figur 5.1). zum ersten mal wurden lee-wellen bereits im jahre 1933 durch segelflieger untersucht. 1937 wurden in segelfugzeugen höhen von 7 km erreicht, 1961 stieg ein pilot im lee der sierra nevada in kalifornien bis auf eine höhe von 14 km. grössere höhen sind vorderhand kaum erreichbar, da segelflugzeuge nicht über druckkabinen verfügen. düsenflugzeug-piloten haben aber bis in höhen von 18 km wellen festgestellt, beobachtungen zeigten wellen bis 30 km.

eine vollständige liste von beobachtungen und theoretischen studien über leewellen ist in den wmo-publikationen technical note no 34 "airflow over mountains" 1960 und, unter berücksichtigung der späteren arbeiten und untersuchungen, technical note no 127 "airflow over mountains, research 1958 - 1972" enthalten.

die beobachteten vertikalgeschwindigkeiten, die in segelflugzeugen im bereich von leewellen festgestellt werden, können bedeutende werte erreichen. so steigt ein segelflugzeug im lee von kleinen bergen mit 1 - 2 m/s, im lee von hohen bergen sind werte bis 12 m/s nicht selten.

der pilot ist daran interessiert, zu erfahren, ob sich überhaupt wellen entwickeln, wenn ja, wie stark die wellenaufwinde sind sowie bis zu welcher höhe wellen auftreten werden. die aufwinde sind fast immer im höhenbereich des bergkammes am grössten und nehmen dann nach oben ab.

5.1 voraussetzungen für leewellen in der troposphäre

5.1.1 temperaturprofil

eine stabile schicht in der nähe oder etwas über kammhöhe sowie darüber und darunter geringere stabilität sind die besten voraussetzungen für die entwicklung von leewellen.

5.1.2 windprofil

die windstärke auf kammhöhe des gebirges sollte für hügel bis etwa 1 km höhe mindestens 15 kt, für grosse berge (3 - 4 km) 25 kt betragen.

die windrichtung soll senkrecht gegen das gebirge gerichtet sein (toleranz  $\pm$  15 grad), die windstärke mit der höhe zunehmen oder konstant bleiben. windrichtungsänderungen mit der höhe sollen nicht mehr als 20 grad pro 1 km ausmachen. siehe figur 5.1 links.

5.2 eigenschaften der leewellen

5.2.1 wellenlänge

sie ist abhängig vom stabilitätsgrad und der windstärke. kurze wellenlängen sind mit schwachen winden und/oder grosser stabilität verbunden, grosse wellenlängen mit starken winden und/oder geringer stabilität.

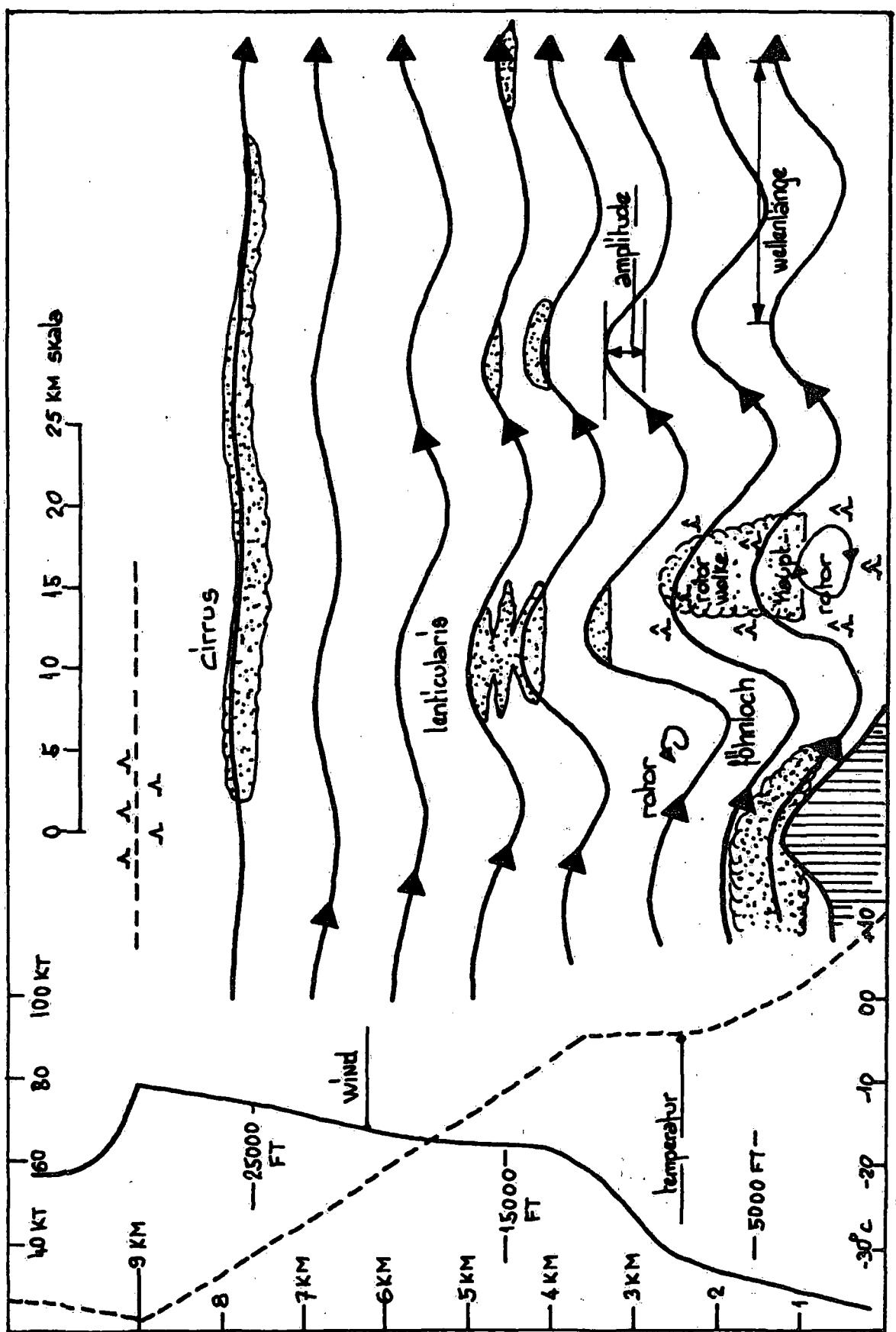
die wellenlänge reagiert aber empfindlicher auf änderungen in der windstärke als der stabilität. beobachtungen haben gezeigt, dass die wellenlänge beinahe linear zunimmt mit dem mittleren wind in der troposphäre.

die formel von corby (1954) ergibt die ungefähre wellenlänge:

$$\lambda = 0,6 u - 3 \quad \text{wobei } \lambda \text{ wellenlänge in km, } u \text{ die mittlere windstärke in m/s derjenigen schicht bedeutet, wo die wellen auftreten}$$

mittlerer wind		wellenlänge
10 m/s	20 kt	3 km
15 m/s	30 kt	6 km
20 m/s	40 kt	9 km
25 m/s	50 kt	12 km
30 m/s	60 kt	15 km
40 m/s	80 kt	21 km

figur 5.1 querschnitt einer wellenströmung



aus beobachtungen lässt sich entnehmen, dass diese werte nur als ange-nähert zu betrachten sind. zum beispiel können folgende abweichungen auftreten:

- a) wellen mit konstanter wellenlänge werden stromabwärts schwächer.
- b) in gewissen fällen variiert die wellenlänge je nach ort und zeit.
- c) auf verschiedenen höhen können verschiedene wellenfamilien vor-kommen.

#### 5.2.2 wellenamplitude

die amplitude ist definiert als die hälften der vertikaldistanz zwischen tal und kamm der welle, in der literatur über wellen wird zum teil aber auch der ausdruck "doppelamplitude" oder tal - kamm-amplitude verwendet (siehe figur 5.1).

die amplitude ist abhängig von:

- \* a) der form und der grösse des gebirges (topographische einflüsse)
- b) den eigenschaften (wind- und temperaturprofil) der strömung auf der luvseite des gebirges.

##### 5.2.2.1 topographische faktoren

- a) Höhe des gebirges:

mit einigen einschränkungen lässt sich sagen: je höher der berg, desto grösser die amplitude. die leeseite ist dabei besonders wichtig, vor allem bei breiten gebirgsketten.

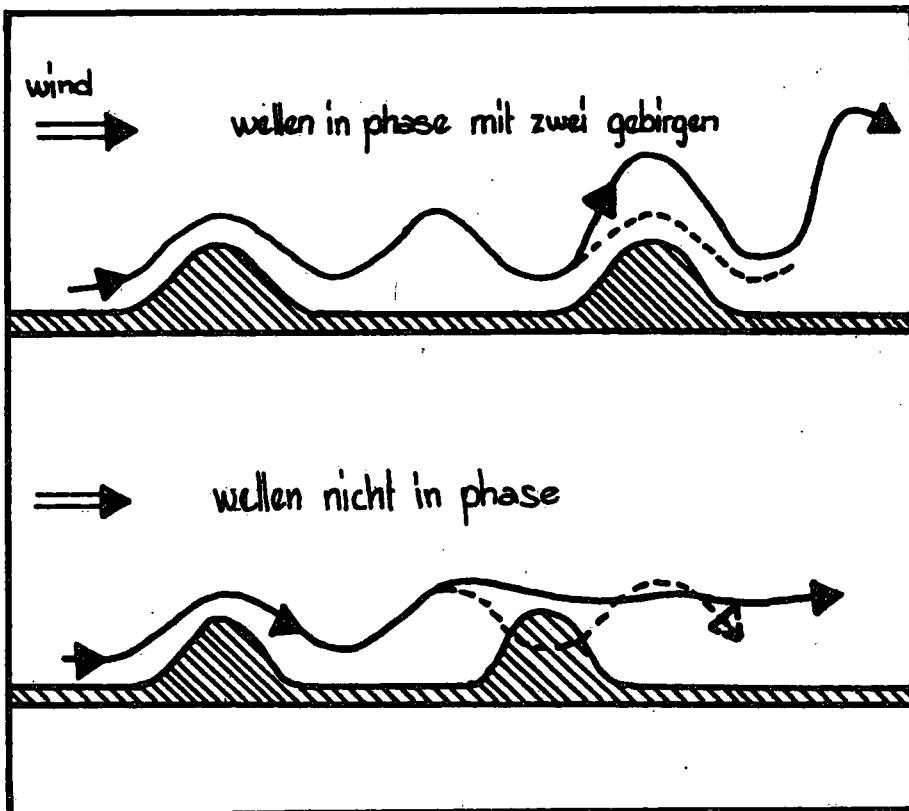
- b) form der gebirge:

wenn die form des gebirges einigermassen übereinstimmt mit der natürlichen form der wellen, ist die amplitude grösser. dieser effekt kann sogar denjenigen der gebirgshöhe übertreffen. deshalb kann unter umständen ein kleiner hügel, dessen form mit der wellenlänge übereinstimmt, eine welle mit grösserer ampli-tude hervorrufen als ein grösserer hügel, der für diese wellen-länge zu gross ist.

c) abstand zwischen zwei erhebungen:

wenn zwei gebirge mit der natürlichen wellenlänge in phase sind, wird die amplitude der welle über und im lee des zweiten gebirges grösser sein als beim ersten berg (siehe figur 5.2a).

figur 5.2a



5.2.2.2 strömungseigenschaften

eine stabile schichtung ergibt grössere amplituden, wenn es sich um eine schmale schicht mit grosser stabilität handelt als wenn mässige stabilität sich über einen grösseren höhenbereich erstreckt.

5.2.3 rotoren und turbulente schichten

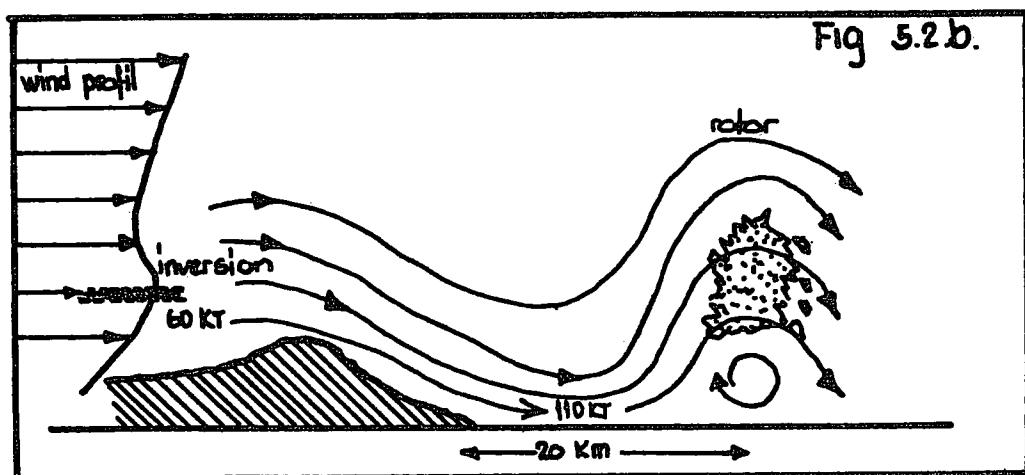
rotoren bilden sich hauptsächlich in den unter luftschichten unter den wellenkämmen. die stärksten rotoren sind normalerweise direkt auf der abwindseite des gebirges unter der ersten leewelle (siehe figur 5.1) zu finden. weiter stromabwärts können in regelmässigen abständen weitere

rotoren auftreten. rotorwolken sehen oft wie eine stationäre walze zerrißener, cumuliformer wolken aus, die sich unter umständen in ihrem oberen teil mit den altocumuli lenticularis verbinden. die basis der rotorwolke ist ungefähr auf der gleichen höhe wie der gebirgstop. wenn die luft zu trocken ist für die kondensation, können auch wolkenlose rotoren auftreten. die position eines solchen rotors kann festgestellt werden aufgrund der markanten änderung des bodenwindes, der gerade unter oder knapp windabwärts des rotors seine richtung um 180 grad ändern kann.

turbulenz in rotoren: alle rotoren verursachen turbulenz, im extremfall kann ein flugzeug zerstört werden. sehr heftige rotoren kommen bei starken höhenwinden und grossen wellenamplituden vor und zwar häufiger im lee von grossen als von kleineren gebirgen (siehe figur 5.2b).

diagramm eines starken rotors

windprofil zeigt windzunahme vom bergkamm bis zum talgrund



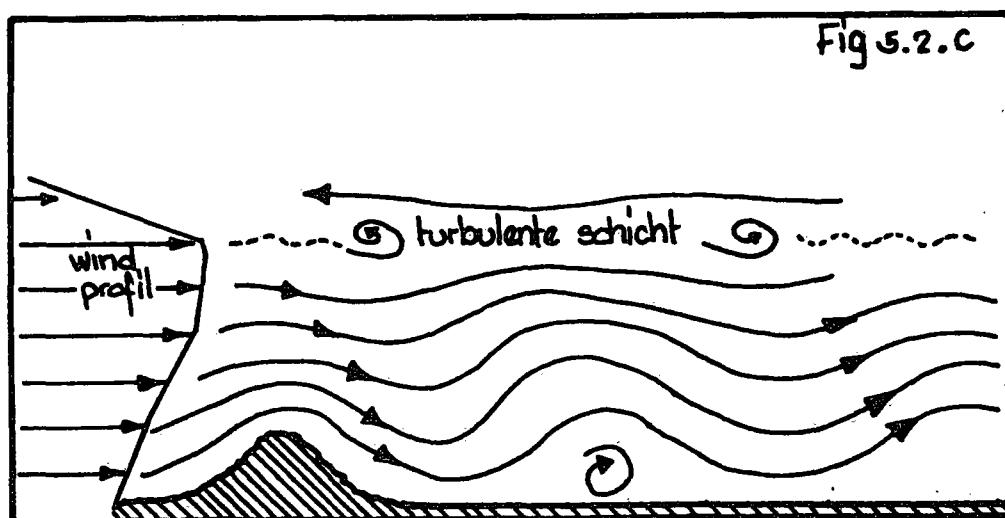
die stärkste und am besten entwickelte welle hat normalerweise im bereich der kammhöhe des gebirges starke rotoren. sie hat eine grössere ausdehnung als normal und die distanz zum gebirge ist ebenfalls grösser als bei kleineren rotoren. küttner (1958) zeigte, dass starke rotoren mit sehr langen wellen zusammenhängen, am boden können etwas windaufwärts der rotorachse stürmische winde auftreten. so wurden beispielsweise schon 110 kt bodenwind bei nur 60 kt wind auf kammhöhe beobachtet. solche winde können an gebäuden schäden verursachen, die auch im lee von nur sehr

kleinen hügeln wie z.b. bei den pennines in england, die nur 600 - 900 m hoch sind.

turbulenz in den unteren schichten kann aber auch ausserhalb von rotoren vorkommen und zwar im bereich der instabilen schichtung. turbulenz in den höheren schichten (siehe figur 5.2c) wird wahrscheinlich durch brechende wellen verursacht, dies in derjenigen schicht, wo eine grosse vertikale windscherung vorhanden ist. sie kann aber auch durch rotoren ausgelöst werden. so wurden von flugzeugen aus noch rotoren bis in höhen über 18 km beobachtet.

diagramm mit turbulenz in grosser Höhe

windprofil zeigt plötzliche abnahme der windgeschwindigkeit mit der Höhe

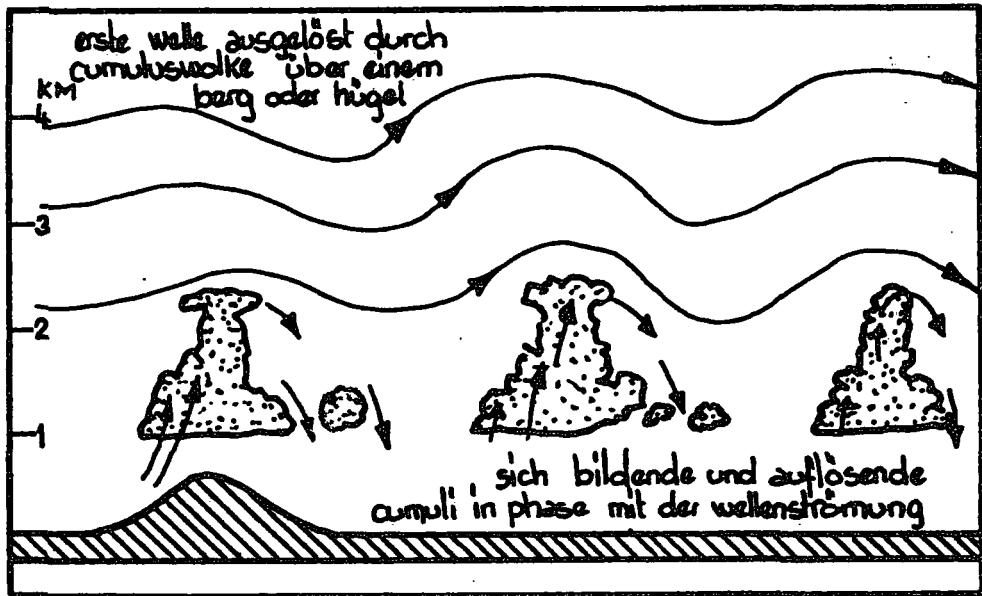


#### 5.2.4 wellen\_und\_konvektionswolken

konvektion in den unteren schichten der atmosphäre zerstört meistens die wellenströmung. piloten erachten es als günstiger, am morgen und gegen abend leewellenflüge zu unternehmen, da zu diesen zeiten kein einfluss der konvektion zu erwarten ist. eine frühere theorie sagt aus, dass keine wellen mehr existieren, wenn die thermische aktivität sich über die kamm-höhe des gebirges hinaus entwickelt.

wenn leewellen vorhanden sind, beeinflusst die wellenströmung die entwicklung der thermik in den unteren schichten. thermik und cumuluswolken werden unter wellentrögen gedämpft, während sie sich unter wellenkämmen verstärken werden (siehe figur 5.2d).

figur 5.2d cumuli in phase mit leewellen



### 5.3 topographische einflüsse

#### 5.3.1 allgemeine einflüsse

Die wirkliche Topographie ist natürlich viel komplizierter als die idealisierten Gebirge, die für die meisten theoretischen Berechnungen von Leewellen verwendet werden. Die tatsächlichen Wellenströmungen können aber trotzdem noch relativ einfach sein, weil einige der kurzen Wellen, die durch die Unregelmäßigkeiten des Gebirges entstehen, ausgeglichen werden durch die Bildung von quasistationären Wirbeln, über die dann die langwellenströmung relativ ungehindert hinwegströmt. Wenn in den untersten Schichten eine starke Inversion vorhanden ist, kann durch die Entwicklung von Wirbeln die tatsächliche Geländeform modifiziert sein. Die Obergrenze der Inversion wird dann zur eigentlichen Oberfläche, über der sich eine Wellenströmung einstellt. Bei dunstigem Wetter ist es dann möglich, die Strömung als Wellenbewegungen an der Dunstobergrenze zu erkennen.

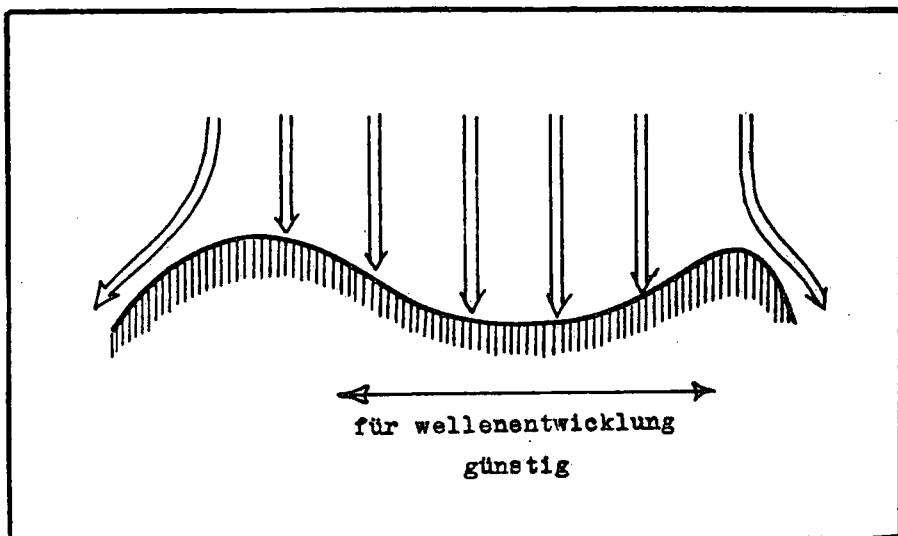
#### 5.3.2 einfluss der asymmetrie

Symmetrische Gebirge sind besonders günstig, wenn die natürliche Wellenlänge und die Form des Gebirges übereinstimmen. Bei asymmetrischen Bergen ist das Verhältnis Wellenlänge - Gebirgsform weniger wichtig, da dann die Form des Berges auf der Leeseite zum dominierenden Element wird.

### 5.3.3 länge des gebirges

ein langes gebirge ist günstiger als ein kurzes, im zweiten fall fliessst nämlich ein teil der luft um das hindernis herum und nicht darüber. bei gekrümmten gebirgen sind die gegenüber der strömung konkaven formen effektiver als wellenproduzenten als die konvexen gebilde (siehe figur 5.3).

figur 5.3 aufsicht eines gekrümmten gebirges



### 5.3.4 einzelne hügel

das durch einen einzelnen hügel ausgelöste wellensystem entwickelt sich zu einem keilförmigen gebilde, ähnlich wie das kielwasser eines schiffes. der winkel dieses keils kann von 12 grad bei nicht sehr stabiler luftschichtung in den tiefen niveaus bis auf 40 grad wachsen, wenn eine scharfe inversion in bodennähe vorhanden ist. die amplitude der welle nähert sich am rande des keils dem wert null. dieser effekt kann beobachtet werden, wenn ein einzelner hügel in eine stratocumulusschicht hineinragt, ohne aber die schicht ganz zu durchstossen.

5.4 synoptische merkmale für die bildung von wellen

5.4.1 streckenflüge in wellen

wenn ein gebirge, das sich über eine grössere distanz erstreckt, von einer kräftigen strömung überströmt wird, erlaubt das dadurch ausgelöste wellensystem hin- und rückflüge bis 1000 km und zwar parallel zum gebirge. flüge in windrichtung sind schwierig, weil die wellenstärke windabwärts abnimmt. immerhin wurde beispielsweise die strecke von frankreich nach korsika (ca. 200 km) zurückgelegt, indem wellen für höhengewinn ausge-nützt wurden (bis etwa 8000 m). die längsten auf diese weise ausgeführten flüge lagen bei 600 km.

5.4.2 allgemeine bedingungen für wellensegelflug

günstige voraussetzungen für wellenentwicklung sind:

- a) windgeschwindigkeit in kammhöhe 20 kt oder mehr
- b) geringe oder keine änderung der windrichtung in einem höhenbe-reich von mehreren kilometern
- c) im mittleren oder unteren teil der atmosphäre eine wenig über kammhöhe liegende stabile schicht
- d) keine ausgeprägte front oder kein höhentrog in der nähe, (gefahr von dichten schichtwolken).

der prognostiker benötigt einen repräsentativen radiosondenaufstieg (aufwindseite) und mindestens zwei karten, nämlich die bodenkarte sowie eine 500 oder 300 mbar-karte (gleicher massstab wie bodenkarte). die bodenkarte kann für gewisse regionen auch durch die 850 mbar-karte ersetzt werden, wenn diese die strömung in den untersten schichten besser charakterisiert. auf dem leuchttisch kann durch übereinanderlegen zweier karten die richtungsänderung mit der Höhe leicht beurteilt werden.

5.4.3 günstige regionen auf der bodenkarte

- a) wo die isobaren antizyklonal gekrümmmt sind mit einem gradientwind von 20 kt oder mehr. in diesen regionen ist normalerweise eine subsidenzinversion oder eine stabile schicht zwischen 1500 und 2500 m vorhanden.
- b) wo ein schwaches frontensystem parallel zu den isobaren liegt. die frontfläche wird durch eine stabile schicht markiert sein und der thermische wind (parallel zu der front) wird zu einer windzunahme mit der höhe führen, ohne dass wesentliche richtungsänderungen vorhanden sind (siehe figur 5.4).

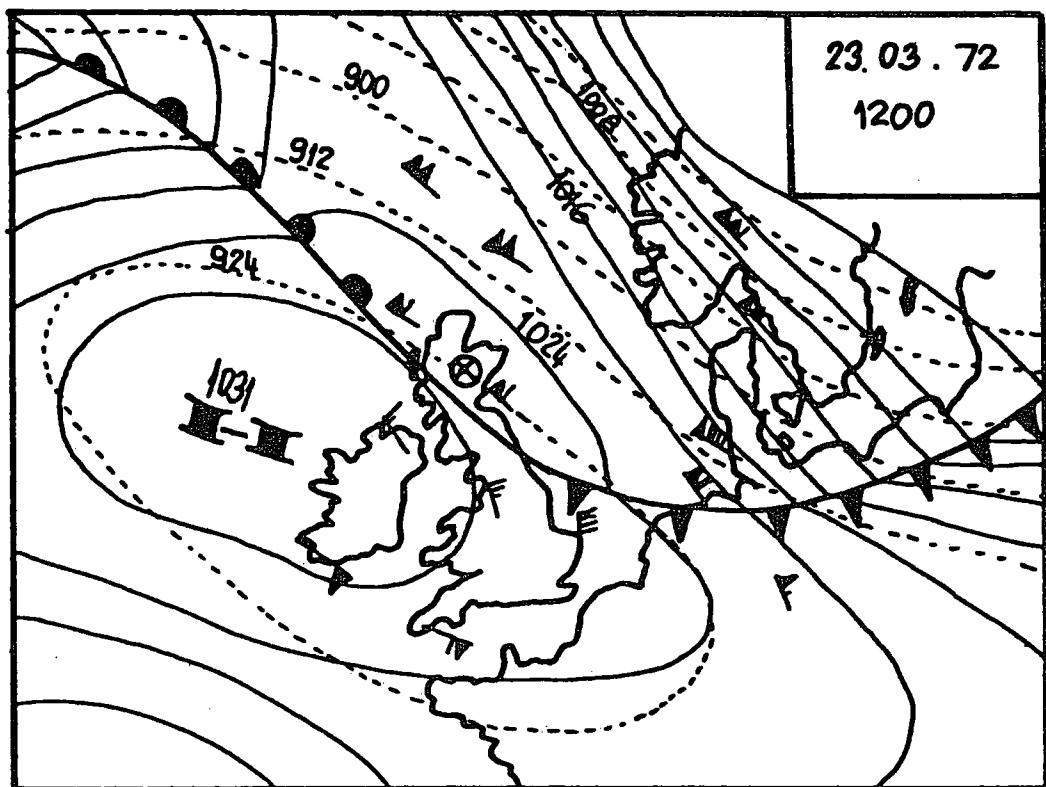
5.4.4 günstige regionen auf der 500- oder 300 mbar-karte

- a) auf der warmen seite des jetstreams
- b) mit der höhe konstante windrichtung
- c) windstärke im 500 mbar-niveau zwischen 35 und 65 kt,  
optimale stärke 50 kt  
  
windstärke im 300 mbar-niveau zwischen 45 und 85 kt,  
optimale stärke 65 kt

wenn die windstärke grösser ist als angegeben, muss der pilot so schnell fliegen, dass sich die sinkgeschwindigkeit des segelflugzeugs stark erhöht.

5.4.5 beispiel einer synopkarte

figur 5.4



in der figur 5.4 bedeuten die ausgezogenen linien bodenisobaren (4 mbar abstand), gestrichelt sind die 300 mbar-isohypsen dargestellt (höhe in dam). die eingezeichneten windpfeile sind messungen im 300 mbar-niveau.

segelflieger meldeten wellen über schottland (siehe +-zeichen). es wurden höhen bis 6400 meter erreicht. die höchsten hügel dieser region sind nur 1300 meter hoch.

#### 5.4.6 ungünstige regionen

- a) im bereich von tiefdruckgebieten der bodenkarte oder in der nähe von höhentrögen. in diesen regionen ist normalerweise keine stabile schicht vorhanden, die für die wellenentwicklung günstig ist. zudem ist die feuchtigkeit meist so hoch, dass sich mächtige und dichte wolkenschichten bilden können.
- b) in der nähe des zentrums eines hochs oder auf der südlichen seite davon. im ersten fall ist der gradient zu schwach, um wellenbildung zu ermöglichen. im zweiten fall, d.h. im bereich der östlichen bodenströmung, ist in den höheren schichten oft eine westströmung vorhanden, was höchstens in den unteren schichten leichte wellenentwicklungen zulässt.

#### 5.5 voraussage der wellen

##### 5.5.1 das lester-harrison nomogramm

diese relativ einfache methode für die vorhersage von wellen, die von segelfliegern ausgenützt werden können, wurde 1975 von lester entwickelt und zwar erweiterte er eine arbeit, die auf harrison zurückgeht.

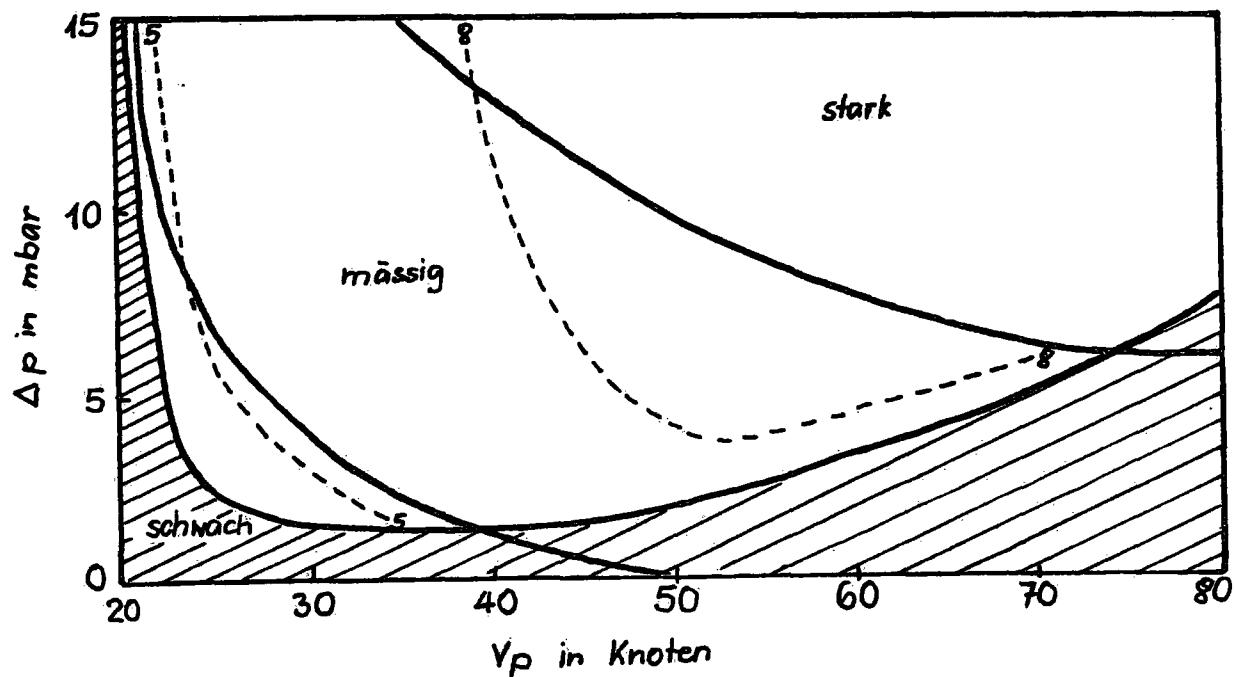
die methode basiert auf lediglich zwei elementen:

- a) maximale windgeschwindigkeit (komponente senkrecht zum gebirge) in einer 3 km-schicht, beginnend auf kammhöhe des gebirges.
- b) druckdifferenz zwischen der auf- und abwindseite des gebirges.

das nomogramm (siehe figur 5.5) wurde in erster linie für hohe gebirgszüge entwickelt in der grössenordnung von etwa 3 km Höhe. es basiert auf zahlreichen beobachtungen. aus dem nomogramm lässt sich die wahrscheinlichkeit von wellen herauslesen, deren intensität (schwach, mässig, stark), sowie der ungefähr zu erwartende aufwind (in knoten).

für die bestimmung der druckdifferenz müssen die zwei verwendeten stationen in bezug auf das gebirge so liegen, dass eine verbindungsline dieser zwei stationen eine senkrechte zum gebirgszug bildet (in der schweiz mit zürich - locarno gegeben). für kleinere berge oder hügelzüge (bis 1 km Höhe) ist das nomogramm nicht anwendbar.

figur 5.5 das lester - harrison nomogramm



dunkel schattierter bereich:

wahrscheinlichkeit für wellen, die von segelfliegern ausgenützt werden können, weniger als 50 %.

weisser berich:

wahrscheinlichkeit grösser als 50 %.

ausgezogene linien:

sie geben die "intensität" der wellen an, die bei den beobachtungen aus wellenlänge, wellenamplitude und vertikalgeschwindigkeit bestimmt wurde.  
unterteilung in schwach - mässig - stark.

gestrichelte linien:

vertikalgeschwindigkeit in knoten mit grenzwerten von 5 und 8 knoten.

$\Delta p$ : druckdifferenz zwischen einer station an der aufwindseite und einer station an der abwindseite des gebirges (positiv, wenn der höhere druck an der aufwindseite des gebirges beobachtet wird).

$v_p$ : in knoten. windkomponente senkrecht zum gebirge aus der mittleren windrichtung der schicht 3 km über kammhöhe sowie aus dem maximumwind dieser schicht.

5.6 wellenflug in der schweiz

5.6.1 allgemeines

in der schweiz liegt der schwerpunkt der wellenfliegerei in der östlichen landeshälfte und zwar etwa vom vierwaldstättersee an ostwärts. das zentrum des wellensegelfluges ist schänis. von dort wie auch von bad ragaz aus wird im allgemeinen die region weisstannental - pizol - spitzmeilen - murg bevorzugt. recht oft fliegen allerdings heute piloten von anderen flugplätzen wie z.b. birrfeld im schlepp bis in den raum rossberg, wo der wellenanschluss bei guten lagen relativ leicht herzustellen ist. neben diesem hauptgebiet werden aber auch in den berner alpen (z.b. bei nordwestwind südlich des kammes), im jura (bei nordwestwind), im säntisgebiet (bei westwind) und auf der alpensüdseite (bei nordwind) wellenflüge absolviert. in unserem wetterdienst fragen die segelflieger normalerweise telefonisch an, ob die wetter- und windsituation günstig sei. deshalb wurde untersucht, wie erfolgreich sich das lester-harrison nomogramm in den alpen bei südföhn anwenden lässt.

5.6.2 anwendung des lester-harrison nomogramms bei südföhnlagen in den alpen

die segelflieger in der schweiz und auch der wetterdienst haben bereits seit Jahren aufgrund der windgeschwindigkeit und der druckdifferenz zwischen der nord- und südseite der alpen die aussichten für wellensegelflug beurteilt. das nomogramm stellt daher eigentlich nur eine genauer definierte und modernere form von bereits seit Jahren verwendeten, allerdings sehr subjektiven kriterien dar. aus gesprächen mit segelfliegern ergab sich, dass dieses nomogramm einen sehr praxisnahen aufbau hat. die druckdifferenz, die verwendet wird, bestimmt zur hauptsache die höhe, von der aus der anschluss an die wellenströmung gefunden werden kann. der anschluss wird entweder im bereich der rotoren gefunden oder dann mit hangaufwinden, von schänis aus z.b. an den churfürsten, insbesondere am leistkamm. bei kleinen druckdifferenzen kann nämlich in der höhe eine wellenströmung vorhanden sein (über 3000 m), doch fehlen dann meist die rotoren oder hangaufwinde in den untersten schichten, mit denen der anschluss an die wellenströmung bewerkstelligt werden kann. das zweite kriterium, die mittlere windrichtung resp. das windmaximum in der schicht 3 km über kammhöhe entscheidet, ob in grösseren höhen eine genügend entwickelte wellenströmung vorhanden ist.

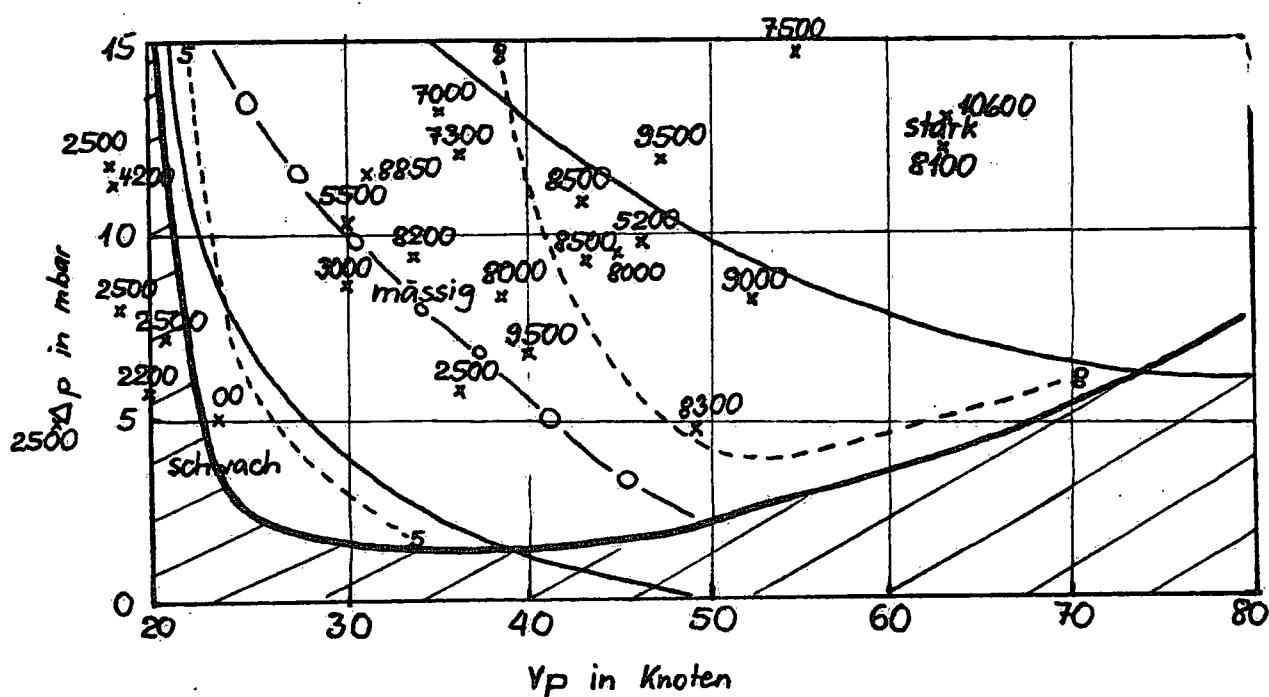
es wurden 26 Fälle der Jahre 1973 bis 1977 untersucht, über die berichte von segelfliegern vorlagen. das nomogramm wurde folgendermassen benutzt:

als druckdifferenz wurden die qnh-werte der stationen kloten und locarno-magadino verwendet. diese beiden stationen liegen etwa auf einer linie, die die alpen senkrecht schneidet.

windkomponente: aus der radiosonde von mailand (meistens 12z-werte, bei starken änderungen mittel 00 und 12z) wurde die mittlere windrich-

tung zwischen 700 und 500 mbar geschätzt sowie der maximumwind dieser schicht bestimmt. als näherungswert kann auch nur der 500 mbar-wind verwendet werden, was von bedeutung ist, da dieser auch aus den numerischen vorhersagekarten ermittelt werden kann. mit hilfe des hodogramms wurde nun die alpensenkrechte windkomponente bestimmt. für den raum ostschweiz wurde eine gebirgssenkrechte von 180 grad angenommen.

figur 5.6 zeigt die verteilung der fälle mit der angabe der von segelfliegern maximal erreichten höhe über meer



vor allem bei den fällen, bei denen grosse höhen erreicht wurden, mussten die flüge zum teil abgebrochen werden (sauerstoffmangel, zunehmende bewölkung etc.). deshalb kann über die obere grenze der wellenströmung keine aussage gemacht werden. Beobachtungen in amerika haben aber ergeben, dass sich die wellen normalerweise so weit nach oben erstrecken, bis die windkomponente senkrecht zum gebirge 17 knoten erreicht oder unterschreitet.

trotzdem die zahl der fälle klein ist, ergibt sich eine klare trennung der fälle im obigen diagramm, so dass es sich zumindest lohnt, das nomogramm anzuwenden. aufgrund der verteilung macht es den anschein, dass möglicherweise in der mitte der intensitätsstufe "mässig" resp. zwischen den vertikalgeschwindigkeiten von 5 und 8 knoten eine weitere trennlinie gezogen werden könnte oder der bereich mit intensität "schwach" ausgeweitet werden müsste (siehe linie o - o - o). um aber definitive änderungen vorzunehmen, muss zunächst die zahl der fälle grösser werden.

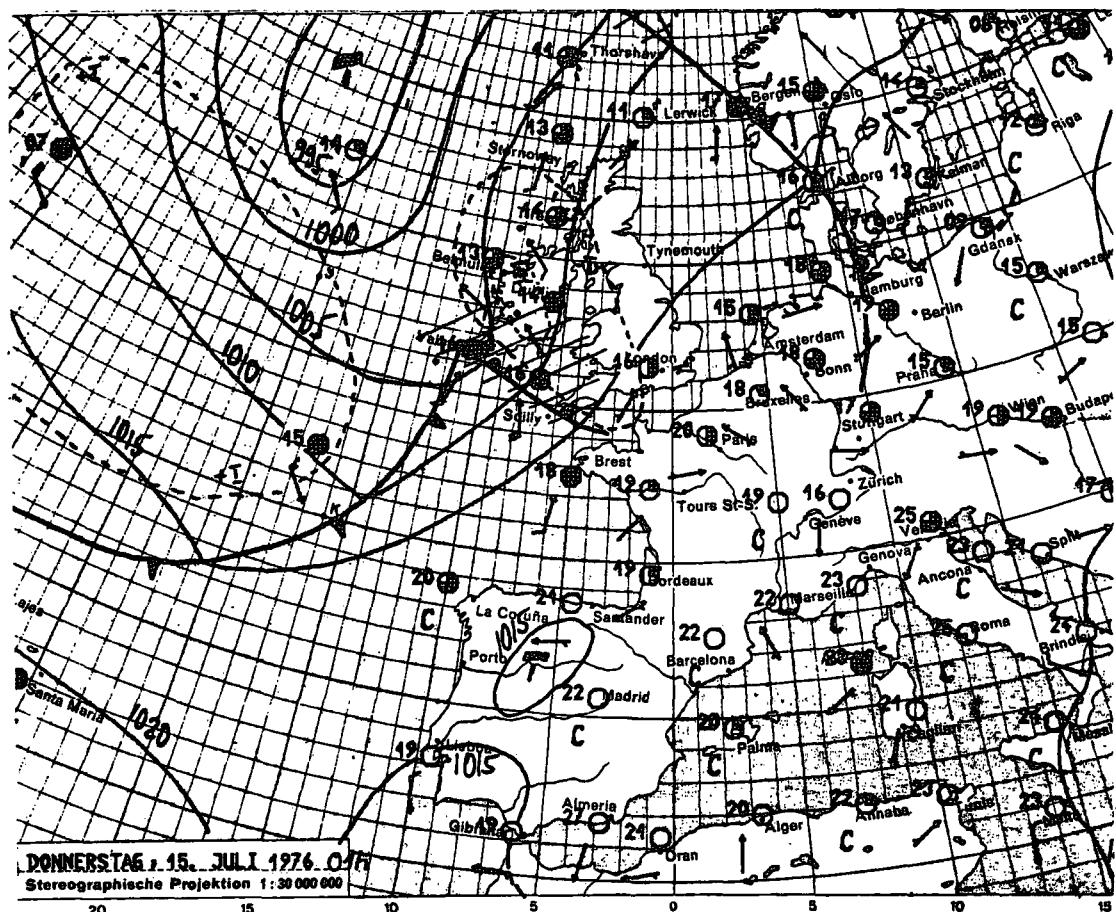
immerhin bin ich der meinung, dass dieses nomogramm ohne weiteres im wetterdienst verwendet werden kann, da es sehr rasch einen überblick über die zu erwartenden wellen erlaubt und zwar aufgrund klar definierter kriterien. diese dürften den sehr subjektiven und damit von prognostiker zu prognostiker verschiedenen beurteilungen der wellensituation überlegen sein. neben diesem nomogramm müssen natürlich auch die im kapitel 5.1 und 5.4 enthaltenen merkmale, die für wellensegelflug günstig sind, berücksichtigt werden.

im übrigen wäre es interessant festzustellen, ob eine engere beziehung zwischen dem aus dem nomogramm erhaltenen wert und dem föhn in den alpentälern bestünde.

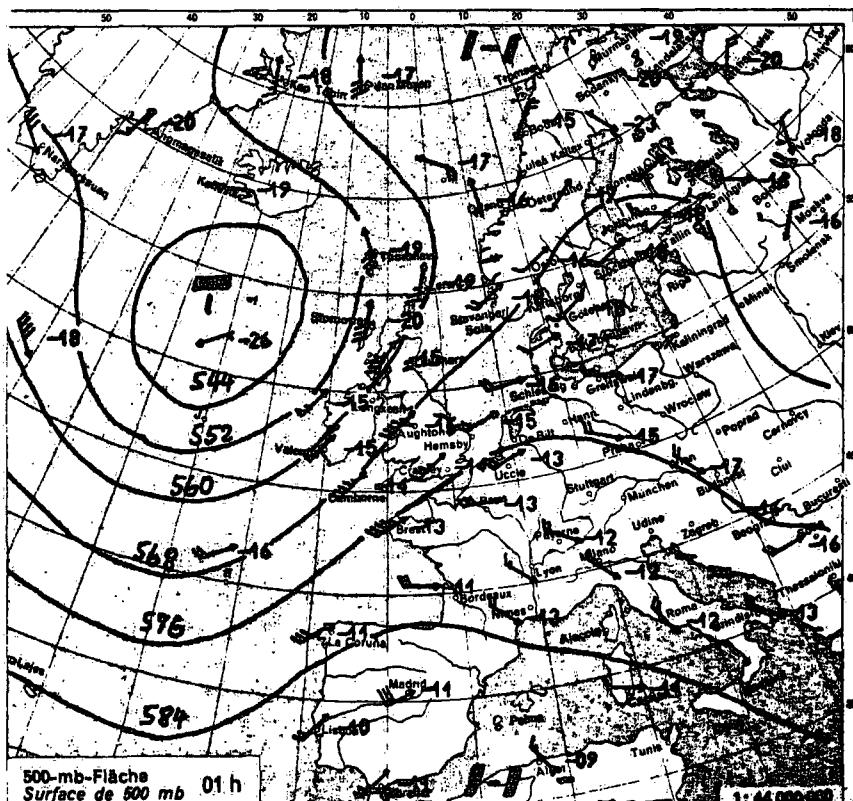
## 6. der gute segelflugtag in den alpen vom 16. juli 1976

an diesem tage wurde eine ganze anzahl grosser streckenflüge absolviert, so konnte ich 5 flüge über 300 km, 11 flüge über mehr als 500 km, 3 flüge über mehr als 700 km und einen über 811 km in erfahrung bringen. der grössere teil fand im bereich ostschweiz - österreich statt, aber auch in den schweizer alpen wurden flüge bis 500 km ausgeführt.

### 6.1 die wetterlage vom 16. juli 1976



die druckverteilung auf der bodenkarte war bereits am 15. juli flach. eine schwache, alte okklusion bewirkte, dass die luft in den unteren schichten sowie im cirrenniveau noch etwas zu feucht war.

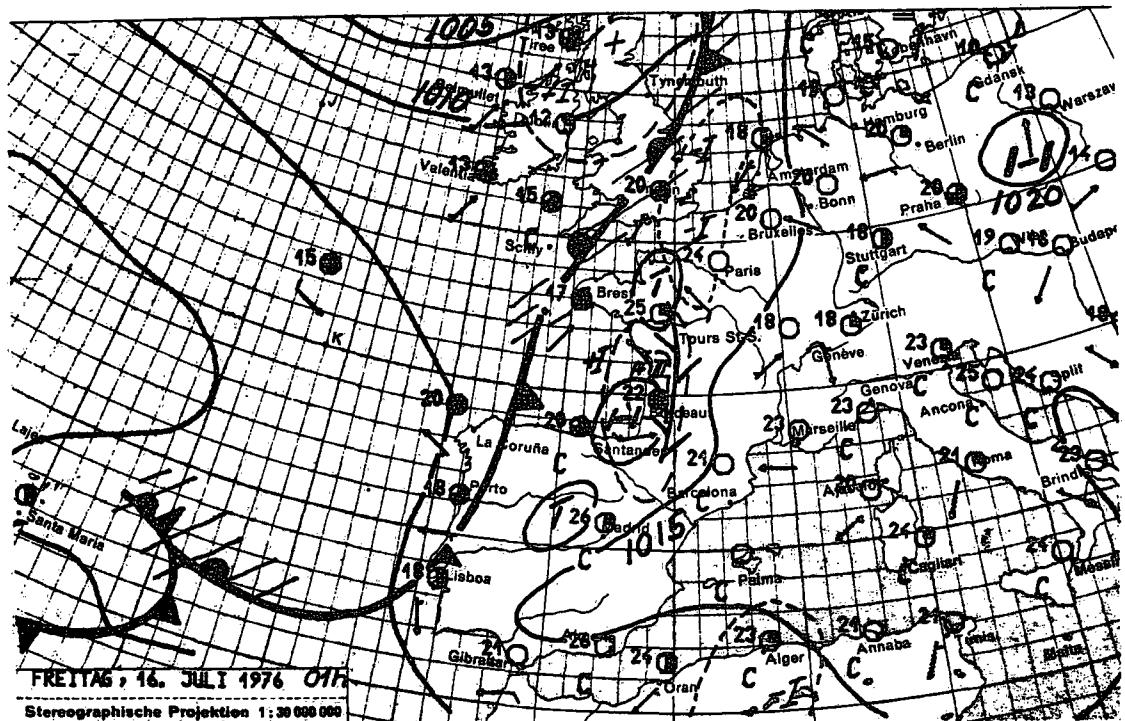


15. juli 1976

die höhenkarte zeigt, dass die achse des hochdruckkeils auf 500 mbar noch über frankreich liegt. vor allem der östliche alpenraum liegt noch in etwas feuchterer luft. in den schweizer alpen wurden bereits flüge über mehr als 300 km ausgeführt. der check alpen ergab -4, also bereits aussichten für einen guten tag. negativ waren die folgenden punkte der checkliste: 850 mbar taupunktsdifferenz noch zu klein, temperaturdifferenz säntis - jungfraujoch noch um 1 grad zu klein, also nicht ganz die optimalen labilitätsverhältnisse, wind 500 mbar payerne noch etwas zu stark sowie die gesamtbewölkung säntis um 06z noch etwas zu gross (leicht beeinträchtigte vormittags-aufheizung).

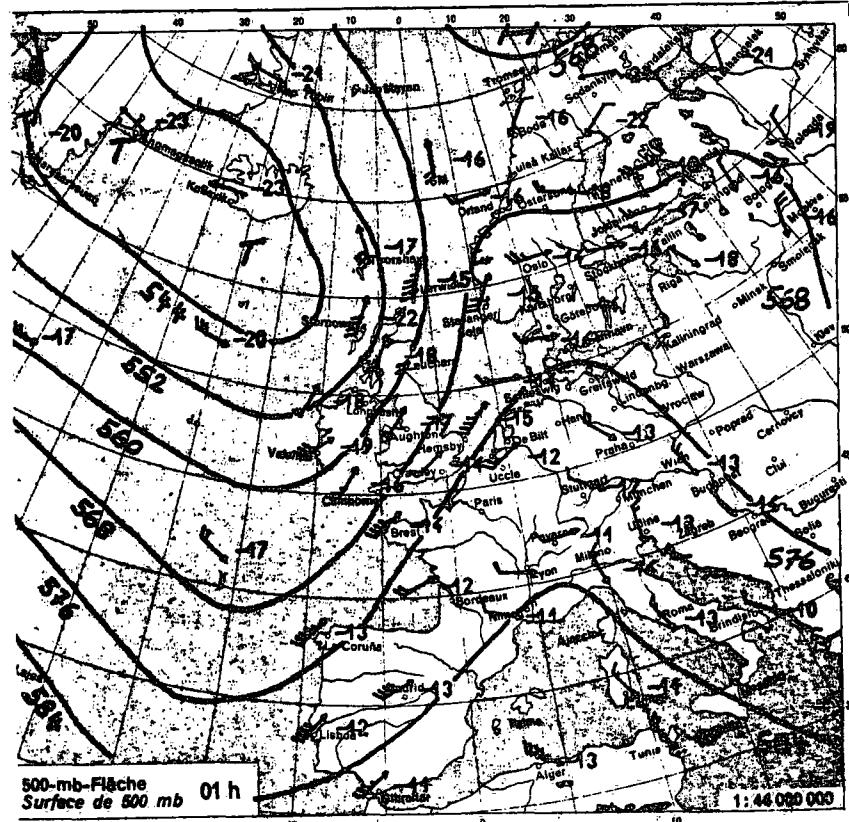
am 16. juli nun zeigte die bodenkarte folgenden bild:  
(siehe nächste seite)

immer noch flachdruckverteilung über mitteleuropa, aber bodendruck  
immer noch etwas über 1017 mbar in kloten um 06z. über frankreich  
und der baskenland nähert sich eine konvergenzzone resp. später eine  
kaltfront.



16. juli 1976

auf der 500 mbar-karte hat nun die achse des hochdruckkeils die ost-schweiz und vorarlberg erreicht, die strömung über österreich ist aber immer noch antizyklonal.

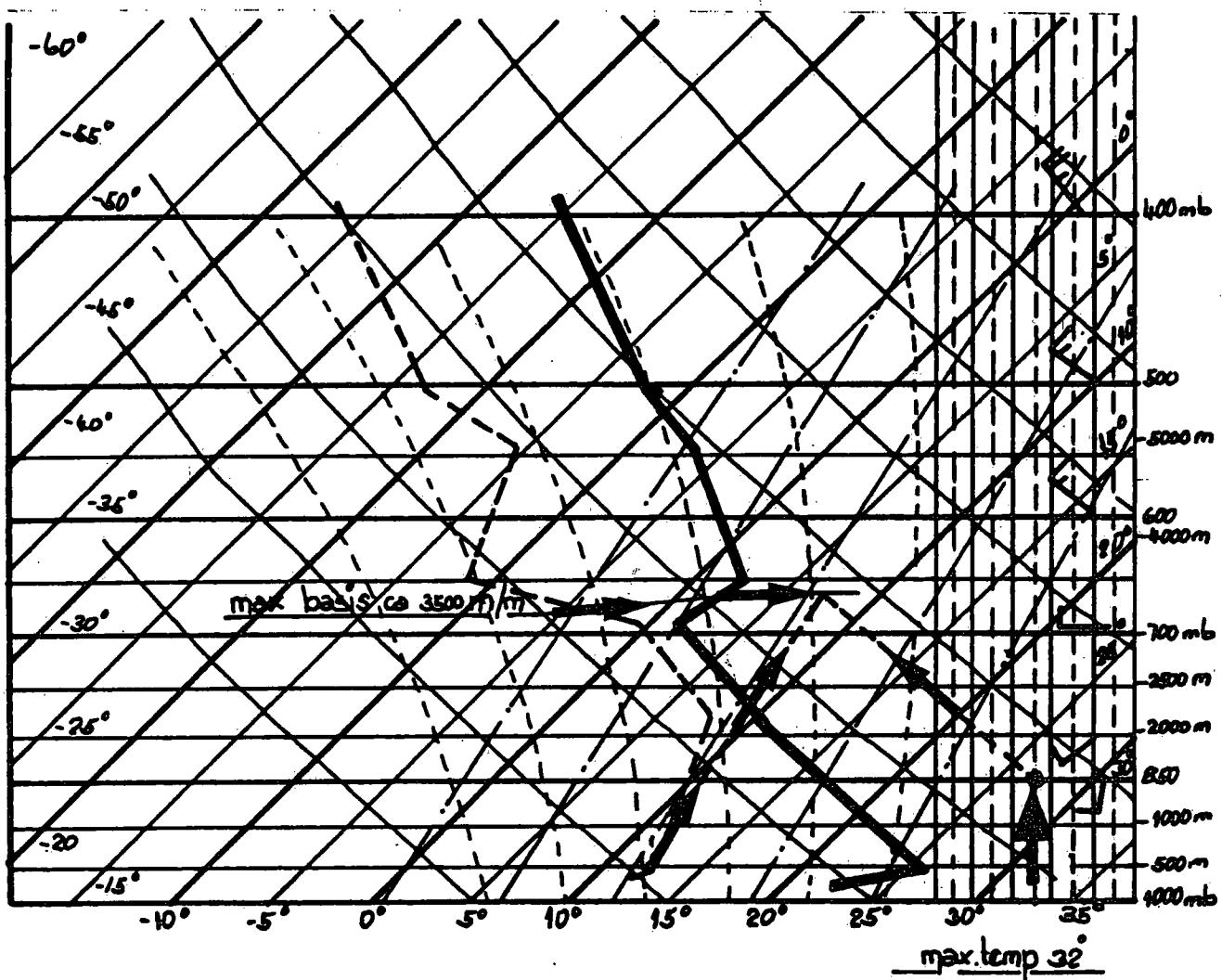


16. juli 1976

die radiosonde von stuttgart:

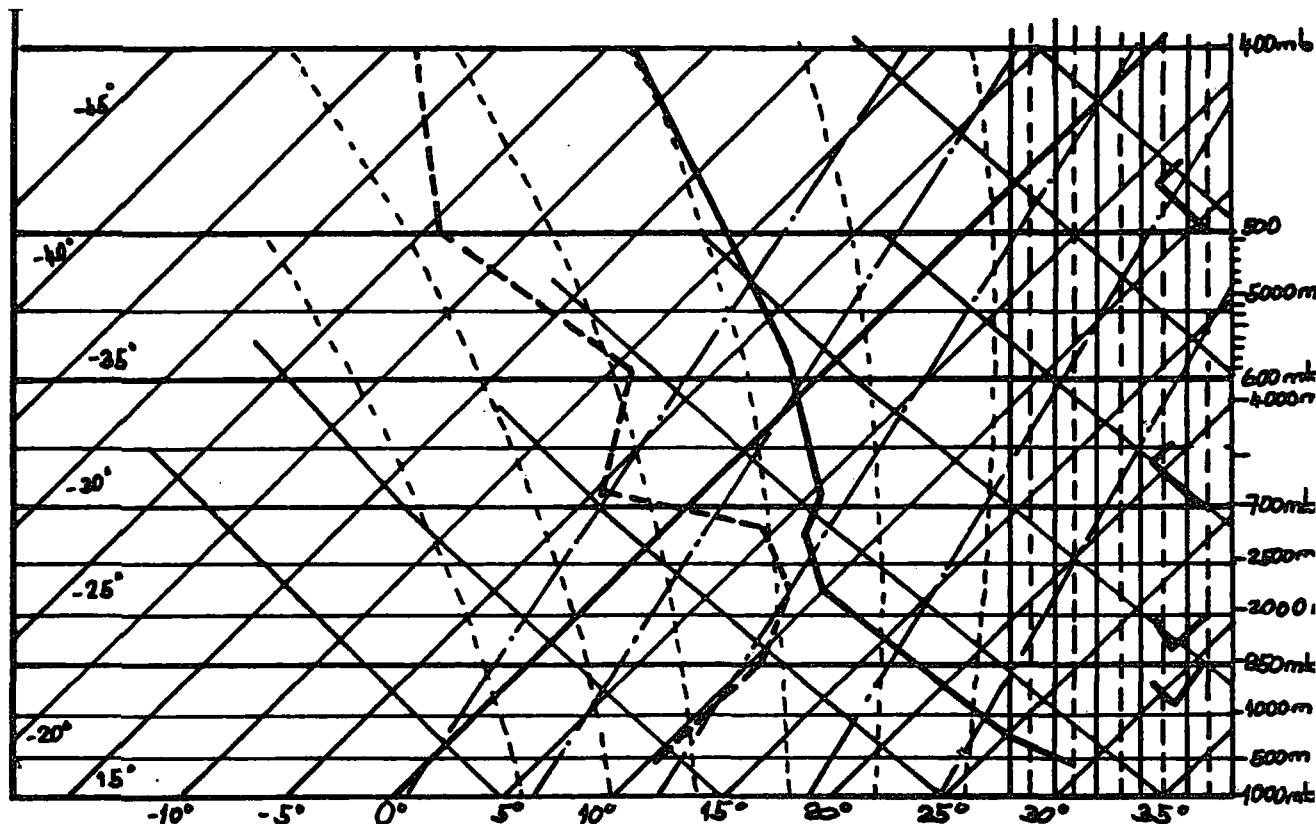
sie kann bei dieser situation als repräsentativ für den raum österreich - ostschweiz betrachtet werden, zudem zeigte der münchen aufstieg keine wesentlichen unterschiede.

stuttgartaufstieg 00z 16.7.76



dieser aufstieg zeigt eine sehr labile schichtung bis etwas über 3000 m/m, darüber genügend trocken, um stärkere überentwicklung zu verhindern. die errechnete maximale wolkenbasis alpen von ca. 3500 m/m konnte an der angabe des silvrettagebietes sowie dem mittleren teil des fluges überprüft werden. im silvrettagebiet wurde etwa 3400 m/m als basis festgestellt, im bereich des rastkogel, wo die mittlere topographie schätzungsweise ebenfalls um 1500 m/m schwankt, erreichte die basis etwa um die mittagszeit 3400 m/m. als näherungswert ist die berechnung vom 1500 m-niveau aus zumindest brauchbar. der taupunkt ist in diesem falle ebenfalls sehr leicht zu bestimmen, da er sich mit der höhe nur wenig ändert.

der aufstieg von münchen von 12z 16.7.76



auch dieser aufstieg zeigt eine labile schichtung bis gegen 3000 m/m, von dort an etwas stabiler und immer noch genügend trocken, um stärkere überentwicklung (cb) zu verhindern. immerhin kann der relativ feuchte bereich zwischen 2200 und 2800 m/m so interpretiert werden, dass die menge der cumuli zum teil etwas gross gewesen sein muss, was aus dem flugbericht dann aus dem raum südlich von münchen. (mayrhofen) auch bestätigt wird.

zusammenfassung der wichtigsten faktoren, die diesen tag zu einem sehr guten segelflugtag in den alpen machten:

flache bodendruckverteilung

in der höhe immer noch leichter nordwestwind, also noch nicht sehr feuchte luft.

im mittleren bereich genügend feucht, um etwa 2 - 4/8 cu zu produzieren, was ideal ist.

schwache winde

geringer überdruck im süden

gewitterentwicklung auf der flugstrecke verhindert durch antizyklonale höhenströmung und damit noch ziemlich trockener luft in der höhe sehr labile schichtung bis etwas über 3000 m/m auf der flachlandsonde, diese schichtung wird dann allerdings im alpenraum modifiziert, indem die luft knapp unter 3000 m/m wärmer ist als im münchener aufstieg (aufgeheizt durch die bergflanken).

der check alpen + voralpen ergab den wert -1, also gute segelflugausichten für den betreffenden tag. der einzige negative punkt war die windrichtung payerne 00z, sie hatte bereits etwas zu weit gegen süd-west zurückgedreht.

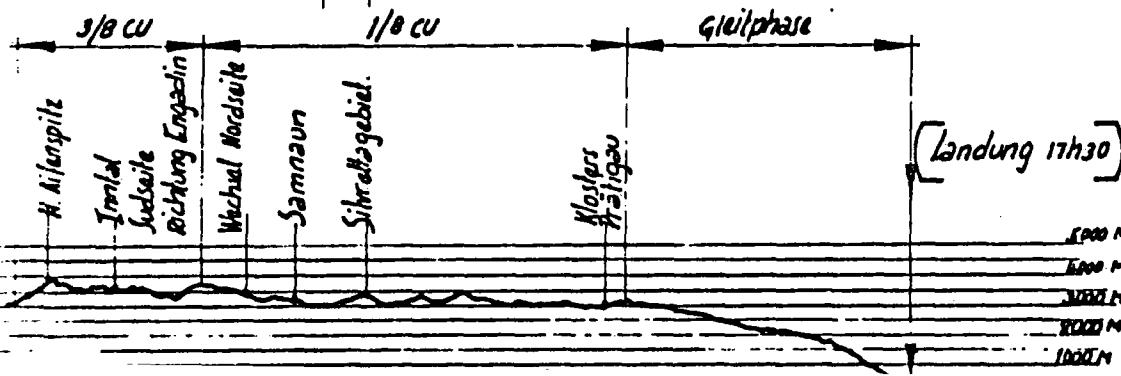
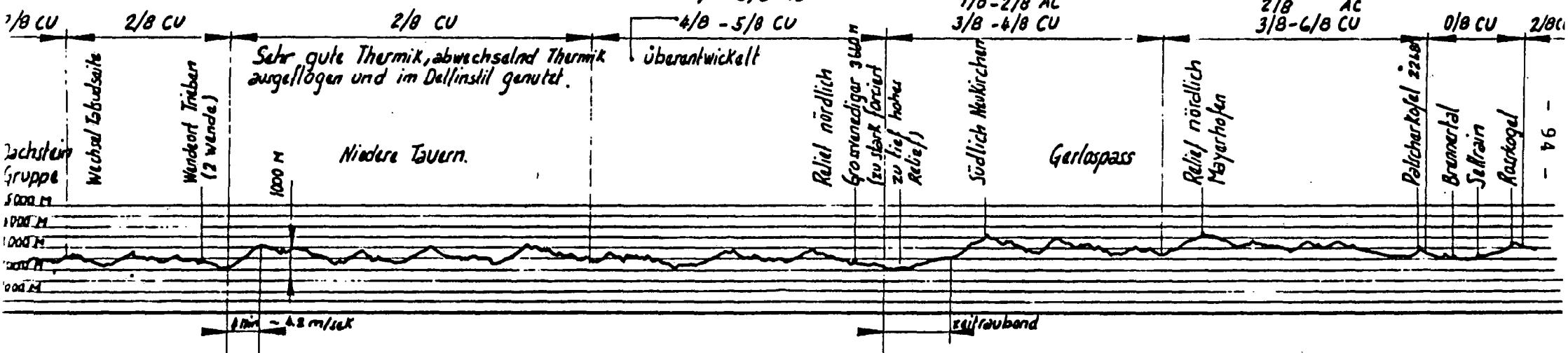
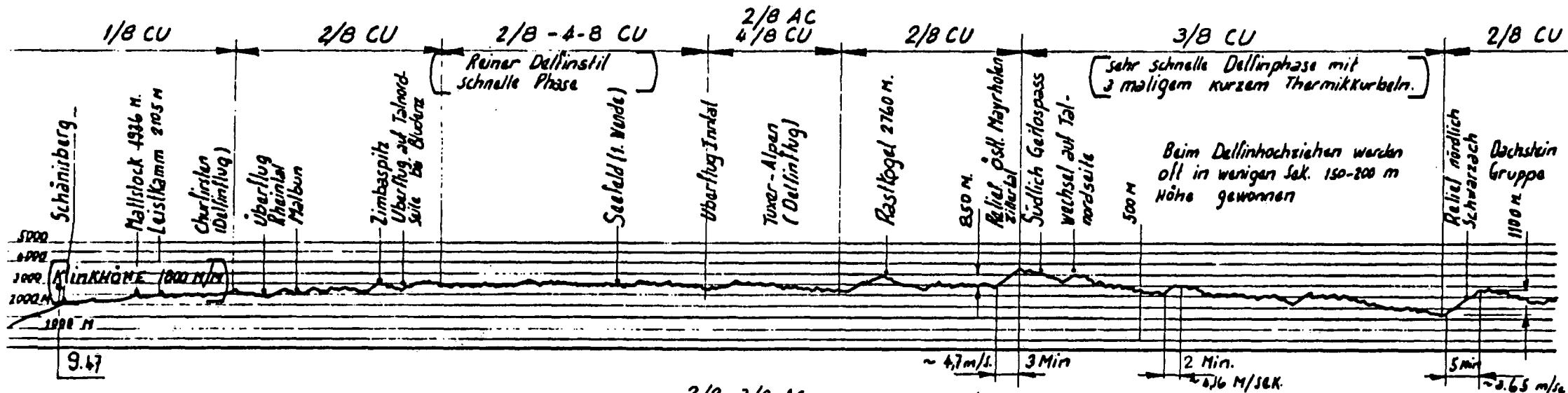
## 6.2 der flug über 811 km von herbert frehner

mit seinem nimbus (einem flugzeug der offenen klasse mit einem gleitwinkel von etwa 1 : 50) erreichte h. frehner einen durchschnitt von etwas über 100 km pro stunde, was als ausserordentlich zu bezeichnen ist.

die landung um 1730h erfolgte deshalb so früh (normalerweise kann bei guten verhältnissen bis 1930h geflogen werden), weil eine verlängerung des fluges richtung westen nicht möglich war, da sich der himmel mit 8/8 cirrostratus überzog, die von gewittern von den meer- und west-alpen stammten. sonst wäre eine distanz von gegen 1000 km nicht ausgeschlossen gewesen.

einige beispiele zeigen, wie rasch bei guter thermik Höhe gewonnen werden kann. so betrug der höchste mittlere steigwert 4,7 m/s, mit dem in 3 Minuten etwa 800 m Höhe gewonnen wurden.

herbert frehner muss übrigens als ausgesprochener spezialist im delphinflug, einer erst in den letzten Jahren entwickelten flugtechnik, bezeichnet werden. auch an den diesjährigen schweizer meisterschaften zeigte sich, dass an tagen, an denen delphinflug möglich ist, kein anderer schweizer pilot mithalten kann.

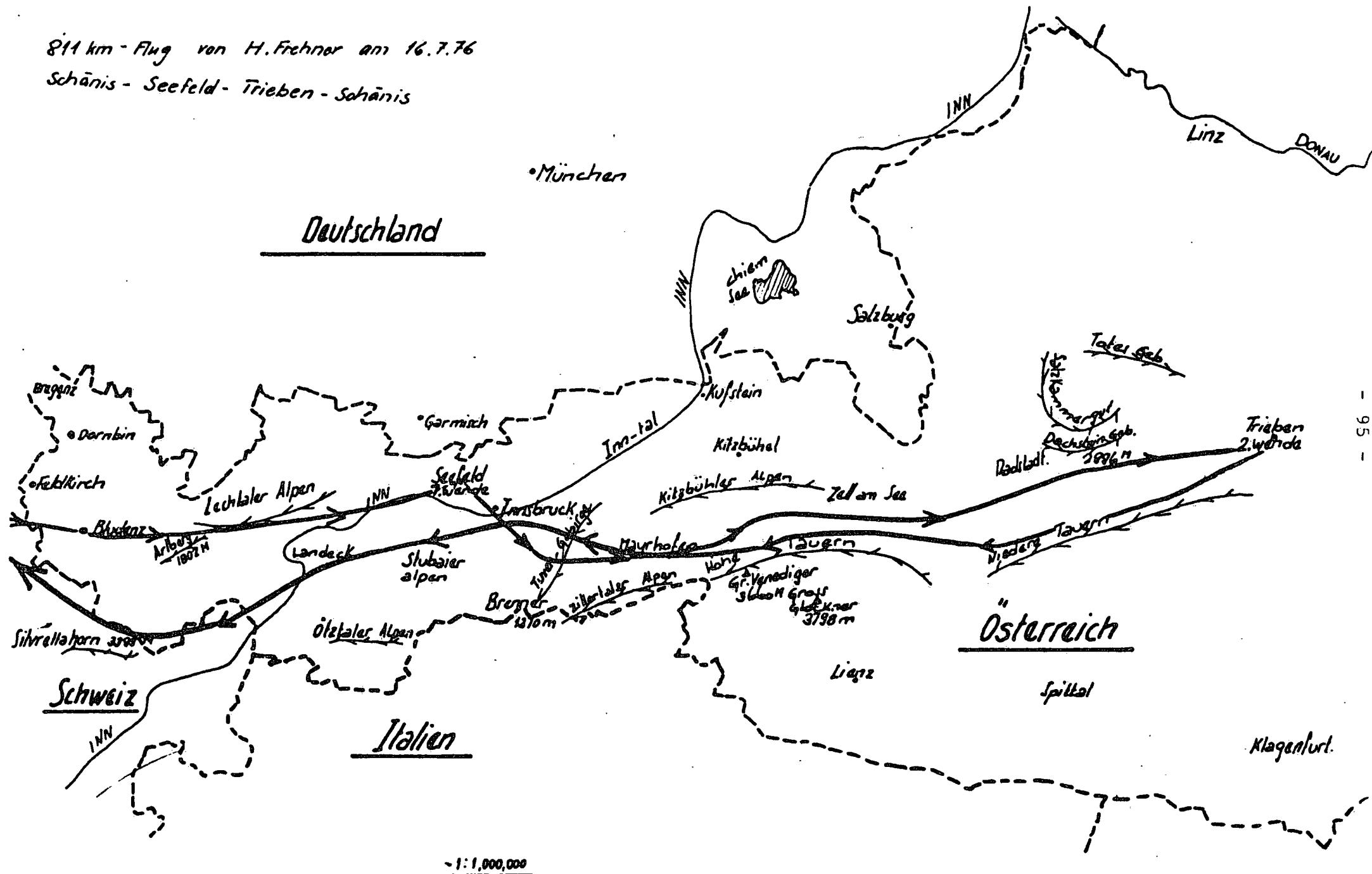


Barogramm des 811 km - Fluges, Kommentar von H. Fehner

Delfinstil: rasches geradeausfliegen (mit ca. 200 km/h). Sobald ein starker Thermikschnullach erreicht wird, Umsetzung der Geschwindigkeit in Höhe, dazu kommt Höhengewinn durch den Thermikschnullach. Dann wieder rascher Geradelaufzug. So wird bei verbreiterter und geringer Thermik kaum Höhe verloren bei sehr hoher Reisegeschwindigkeit und ohne einen Kreis fliegen zu müssen (siehe vor)

811 km - Flug von H. Frehner am 16.7.76

Schänis - Seefeld - Trieben - Schänis



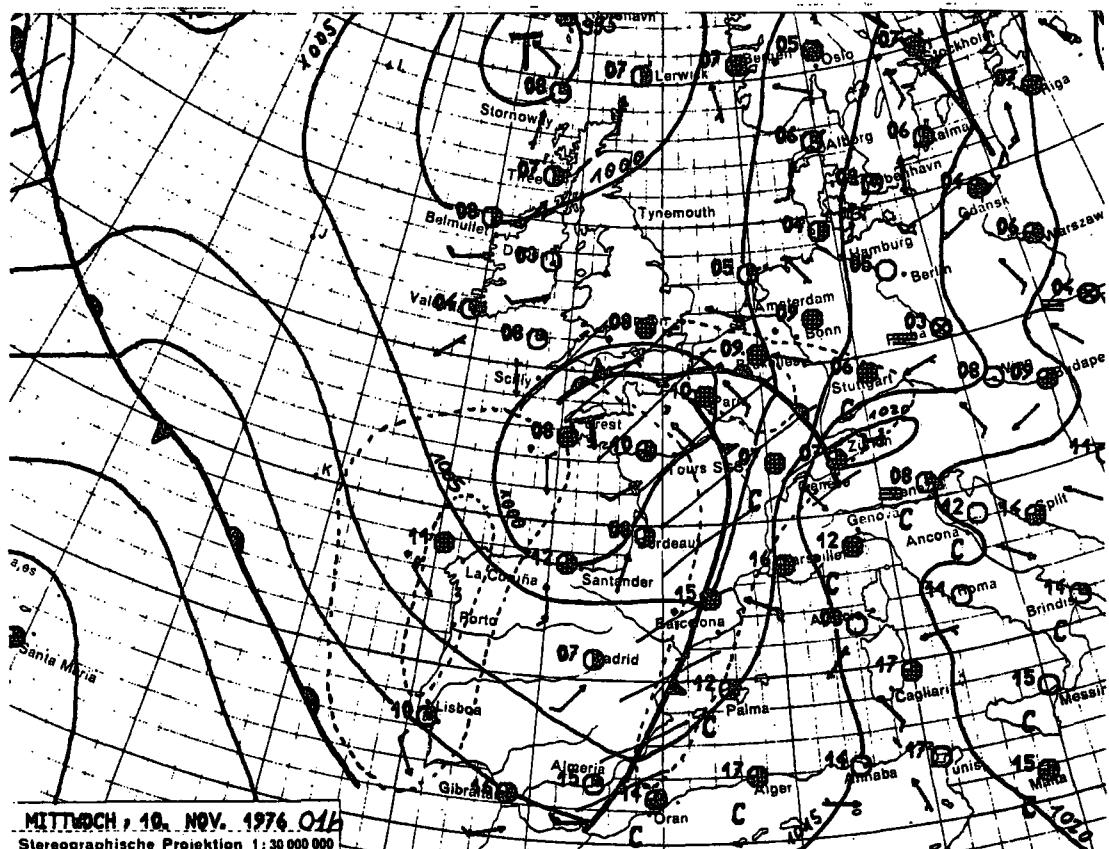
7. der tag mit guter wellenentwicklung am alpennord-  
rand vom 10. november 1976

an diesem tage wurden zahlreiche flüge über 5000 m/m ausgeführt, die grösste erreichte höhe betrug 10600 m/m.

7.1 die wetterlage vom 10. november 1976

bereits am 8. und 9. november herrschte über den alpen eine südwestströmung (mailand 225 - 240 grad), doch war die windstärke zum teil noch zu gering oder die druckdifferenz zu klein. es wurden flüge versucht, doch konnte der anschluss an die wellenströmung nicht hergestellt werden. der hauptgrund lag wahrscheinlich darin, dass die windrichtung mit der höhe zu stark änderte, nämlich von südsüdwest in den untersten schichten bis gegen west auf 300 mbar.

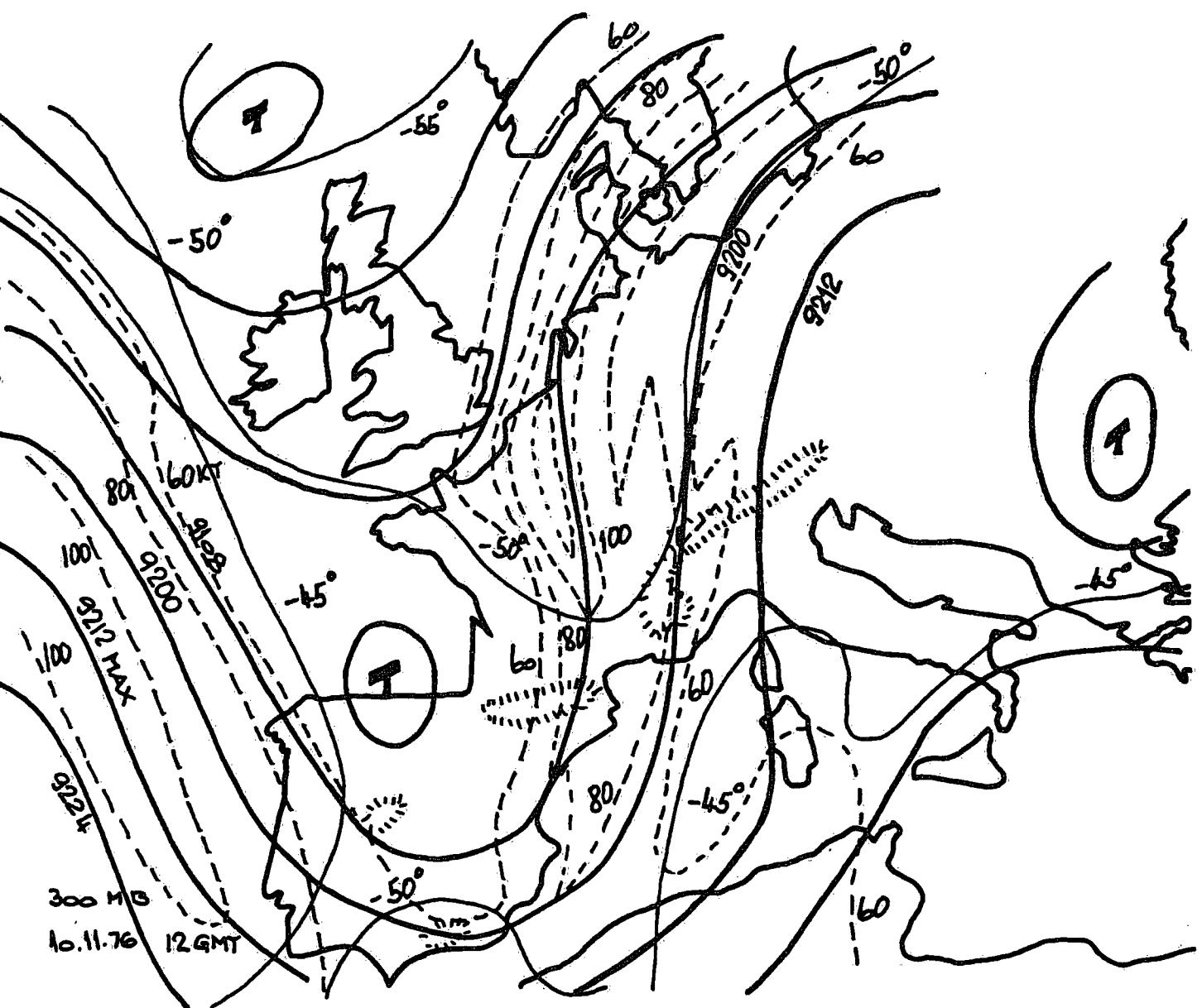
am 10. november nun präsentierte sich die bodenkarte folgendermassen:



hier die entwicklung der druckdifferenz kloten - locarno-magadino  
(qnh) :

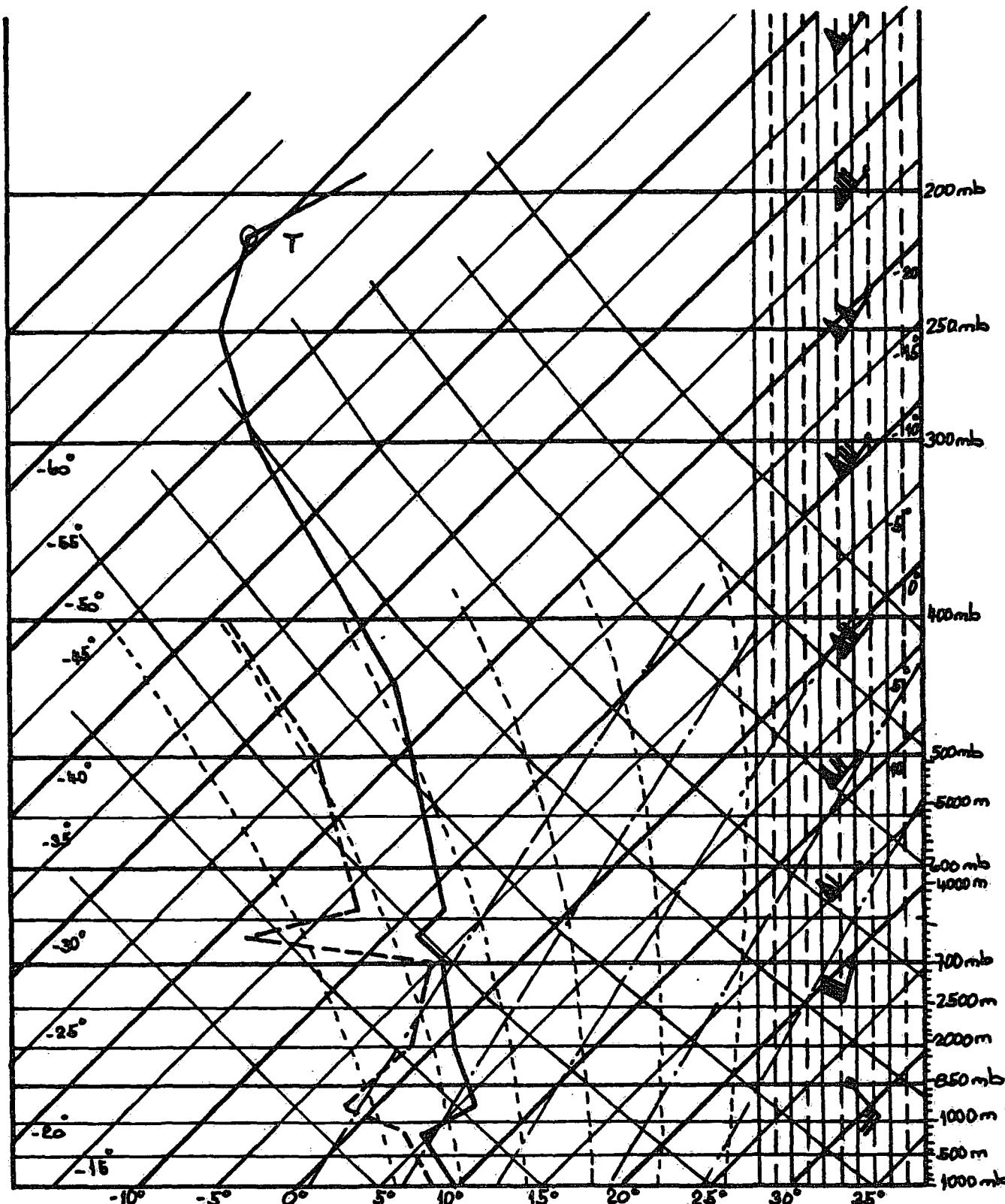
nachdem sie um 12z des vortages (9.11.) noch 7,2 mbar betragen hatte, nahm sie rasch zu und erreichte am 10.11. 00z 10,3 mbar, um 06z 12,7 mbar, um 15z den höchstwert von 13,1 mbar und verringerte sich um 18z auf 8,4 mbar. auf dem gütsch wurde um 12z als höchster wert eine windstärke von 50 kt mit böen bis 90 kt gemessen. der föhn drang sehr weit ins flachland vor und erreichte auch den flughafen kloten.

die 300 mbar-karte vom 10.11. 12z zeigte folgendes bild (original-analyse lwz) :



hier nun die radiosonde von mailand vom 10.11.76 12z

an dieser stelle möchte ich nochmals betonen, dass immer mit der nächsten radiosonde auf der aufwindseite gearbeitet werden muss. die sonden weiter westlich wie payerne oder nimes sind nur insofern zu berücksichtigen, als daraus die windstärken-änderung, die zu erwarten ist, abgeschätzt werden kann.



dieser aufstieg zeigt, dass die im kapitel über leewellen angegebenen bedingungen erfüllt sind:

- geringe änderung der windrichtung mit der höhe (ausgenommen der bereich unter kammhöhe, was ohne bedeutung ist)
- etwas über kammhöhe eine stabile schicht, darüber und darunter labiler
- die als optimal angegebenen windstärken werden leicht überschritten:  
500 mbar 70 kt statt 50 kt  
300 mbar 90 kt statt 65 kt
- da aber die windrichtung etwa 210 - 220 grad betrug, ergibt sich eine gebirgssenkrechte windkomponete, die schwächer ist als der gemessene wert.

anwendung des lester-harrison nomogramms:

- mittlere windrichtung 700 - 500 mbar 210 grad  
maximale windstärke dieser schicht 73 knoten
- daraus lässt sich eine gebirgssenkrechte (180 grad) windkomponente von 63 knoten errechnen.  
die druckdifferenz kloten - locarno-magadino erreichte um 12z 12,4 mbar.
- dies ergibt im nomogramm eine intensitätsstufe stark und vertikal-geschwindigkeiten von weit über 8 knoten (siehe auch seite 84).

auch in diesem falle hat sich bestätigt, dass relativ spitze höhen-tröge am aussichtsreichsten sind, nicht nur wegen der dadurch vorhandenen konstanteren windrichtung mit der höhe, sondern auch weil ein solcher höhentrog nur langsam nach osten weiter zieht und damit den segelfliegern mehr zeit lässt, höhenflüge zu versuchen. rascher wandernde tröge können ja ihre optimale position in bezug auf lee-wellenentwicklung in den alpen auch nachts aufweisen und sind daher nicht immer für höhenflüge geeignet.

8. analogfälle

falls sich jemand noch eingehender mit sehr guten segelflugtagen auseinandersetzen will, folgen hier die daten der tage, für die meldungen über flüge von 500 km oder mehr vorlagen.

jura + schwarzwald

17.4.1976  
19.4.  
02.5.  
28.5.  
19.6  
16.7.  
29.5.1977  
01.7.  
12.7.  
22.7.  
23.7.  
04.8.  
06.8.

alpen + voralpen

19.4.1976  
02.5  
17.5.  
09.6  
10.6.  
15.6.  
18.6.  
19.6.  
22.6.  
26.6.  
02.7.  
03.7.  
16.7.  
07.8.  
29.5.1977  
12.7.

hier noch einige daten, an denen wellenflüge über 7000 m/m erfolgten:

16.01.1975  
30.09.1975  
12.09.1976  
12.10.1976  
24.10.1976  
10.11.1976  
01.01.1977  
20.02.1977  
23.03.1977  
06.10.1977  
07.10.1977  
08.10.1977

geglättete pentadenmittel der absoluten topographie 500 mbar für den alpenzentralpunkt (rheinwaldhorn)

nach w. kirchhofer, abgrenzung von wetterlagen im zentralen alpenraum

der unterschied zu den werten über payerne dürfte gering sein und wurden ausser acht gelassen, um so mehr als mit dekametern und nicht mit metern gerechnet wurde.

1.	- 5.4.	555	dam
6.	- 10.4.	556	
11.	- 15.4.	556	
16.	- 20.4.	557	
21.	- 25.4.	558	
26.	- 30.4.	560	
1.	- 5.5.	561	
6.	- 10.5.	562	
11.	- 15.5.	563	
16.	- 20.5.	564	
21.	- 25.5.	565	
26.	- 30.5.	567	
31.5.	- 4.6	568	
5.	- 9.6	569	
10.	- 14.6.	570	
15.	- 19.6.	571	
20.	- 24.6.	572	
25.	- 29.6.	573	
30.6.	- 4.7.	574	
5.	- 9.7	575	
10.	- 14.7.	576	
15.	- 19.7.	576	
20.	- 24.7.	577	
25.	- 29.7.	577	
30.7.	- 3.8.	577	
4.	- 8.8.	578	
9.	- 13.8.	577	
14.	- 18.8.	577	
19.	- 23.8.	577	
24.	- 28.8.	577	
29.8.	- 2.9.	576	
3.	- 7.9.	575	
8.	- 12.9.	574	
13.	- 17.9.	573	

## literaturverzeichnis

1. alaka m.a., 1958  
aviation aspects of mountain waves, technical note no. 18. wmo, genf
2. alaka m.a., 1960  
the airflow over mountains, technical note no. 34, wmo, genf
3. bessemoulin j. und viaut a., 1967  
manuel de météorologie du vol à voile, blondel la rougery, paris
4. brockmann-jerosch h., 1919  
baumgrenze und klimacharakter, rascher-verlag zürich
5. corby j.a., 1954  
the airflow over mountains, quarterly journal of the royal meteorological society, vol. 80
6. jäckisch h., 1968  
waveflow above convection streets, ostiv publication no. X
7. jäckisch h., 1972  
synoptic conditions of wave formation above convection streets, aero revue
8. kalckreuth von j., 1973  
segeln über den alpen, motorbuch-verlag, stuttgart
9. kreipl m., 1976  
mit dem wetter segelfliegen, motorbuch-verlag, stuttgart
10. kuettner, j., 1952  
on the possibility of soaring on traveling waves in the jetstream.  
aeronaut. engin. revue, vol. 11, no. 12
11. kuettner j., 1958  
rotorflow in the lee of mountains, aero revue
12. kuettner j., 1972  
thermal wave soaring, aero revue
13. lester p.f., 1975  
an evaluation of a lee wave forecasting nomogramme, technical soaring, vo. 3, no. 3
14. lindemann c., 1973  
thermal waves, aero revue 12/1973, 1/1974
15. lindsay c.v. und lacy s.j., 1972  
soaring meteorology for forecasters, forecasters handbook no. 3,  
national weather service, usa
16. nichols j.m., 1973  
the airflow over mountains, research, research 1958 - 1972,  
technical note no. 127, genf
17. OSTIV publications I to XII  
wissenschaftliche, technische und meteorologische arbeiten über  
segelflug, ostiv sekretariat, voorburg, holland

18. OSTIV, 1978  
handbook of meteorological forecasting for soaring flight,  
technical note no. 158, wmo, genf
  19. piggott j., adam and charles black, 1967  
gliding, a handbook on soaring flight, london
  20. quiby j., kuhn w., 1976  
dynamical-statistical methods of mesoscale precipitation  
forecasting over mountainous terrain, birkhäuser-verlag, basel
  21. reichmann h., 1976  
strecken-segelflug, motorbuch-verlag, stuttgart
  22. reinhardt m.e., 1971  
aerologische strukturen am alpennordrand nach flugzeugsondierungen,  
annalen der meteorologie, no. 5
  23. scorer r.s., 1958  
natural aerodynamics, permamon press, new york
  24. wallington c.e., murray j., 1966  
meteorologie für segelflieger, limpert-verlag, frankfurt
-

