



Arbeitsberichte

Nr. 192

Heinz Maurer

**Frostprognose in der Schweiz:
neue Methode
mit automatischen Stationen**

© Schweizerische Meteorologische Anstalt

Oktober 1997

Bestellungen an:
Stab und Dienste, Koordination und Information

Schweizerische Meteorologische Anstalt
Institut suisse de météorologie
Istituto svizzero di meteorologia
Swiss Meteorological Institute
Institut svizzer da meteorologia

Krähbühlstrasse 58
Postfach
CH-8044 Zürich

Telefon 01/256 91 11
Telefax 01/256 92 78
E-Mail mv@sma.ch

Frostprognose in der Schweiz: neue Methode mit automatischen Stationen

Heinz Maurer, SMA-MeteoSchweiz

Zusammenfassung:

Nach sehr starken Frösten im Frühling 1945 mit Schäden im Obst- und Rebbau der Schweiz von rund 80 Millionen Franken besteht seit 1950 ein spezielles Frostbeobachtungsnetz. Der vorliegende Arbeitsbericht beschreibt die Entwicklung einer neuen Prognosemethode, die sich im wesentlichen auf das ANETZ (Automatisches Netz) abstützt. Es wird dargelegt, dass mit genaueren Messdaten und weniger Aufwand tendenziell bessere Resultate erzielt werden können.

Résumé:

Au printemps 1945 des gels extrêmement sévères provoquèrent des dégâts équivalents à une somme d'environ 80 millions de francs en arboriculture et dans les vignes. A la suite de cette catastrophe un réseau d'observation spécialement dédié à la prévision du gel entra en fonction en 1950. Le rapport de travail ci-présent décrit le développement d'une nouvelle méthode de prévision du gel s'appuyant essentiellement sur les mesures du réseau automatique ANETZ. Ce travail démontre que les prévisions obtenues grâce à des mesures plus exactes et avec un effort moins important sont sensiblement meilleures.

Riassunto:

La primavera del 1945 fu caratterizzata in Svizzera da forti gelate che causarono ingenti danni alle culture, in particolare alla vite ed alle piante da frutta. Cinque anni dopo, nel 1950, venne così costituita una rete di stazioni di misura, dove vengono registrati i diversi parametri necessari per sorvegliare e prevedere le gelate tardive. Nel presente rapporto è descritto un nuovo metodo per prevedere le gelate primaverili, che si basa principalmente sui dati rilevati dalla rete di stazioni automatiche (ANETZ) distribuite sul territorio nazionale. Malgrado il nuovo metodo sia più speditivo, la qualità delle previsioni così elaborate ha fatto registrare un generale miglioramento.

Summary:

Severe frosts during the spring 1945 caused losses for about 80 million swiss francs in fruit growing and in vineyards. As a consequence of this catastrophe an observation network dedicated specially for the forecast of frost was set up in 1950. The following report describes the development of a new forecast method for frost based essentially on automatic measurements obtained from the ANETZ network. With the more accurate ANETZ data as well as with less effort the presented method provides slightly better results.

Inhaltsübersicht

1	Allgemeines zur Frostprognose	3
1.1	Ueberblick über verschiedene Frostvorhersagemethoden	3
1.2	Temperaturschichtung in guten Strahlungs Nächten	4
2	Kurze Geschichte der Frostprognose in der Schweiz und der bisherigen Methode	5
3	Versuche mit leicht veränderter Methode und automatischen Stationen	6
4	Neue Methode	7
4.1	Konzept	7
4.2	Verwendete Daten	7
4.3	Zeitraum und Stationen	8
4.4	Regressionsgeraden für Payerne	8
4.5	Räumliche Verteilung und Repräsentativität	11
5	Betriebstest im Frühling 1996 und 1997	19
5.1	Anwendung der neuen Methode mit gemessenen Werten (perfect prognosis)	19
5.2	Vergleich der bisherigen und der neuen Methode mit prognostizierten Werten	24
5.3	Zusammenfassung	34
5.4	Schlussfolgerungen	34
6	Praktische Anwendung der neuen Methode im Prognosedienst	35
7	Ausblick	35
8	Dank	36
9	Literatur	37
9.1	Im Arbeitsbericht zitierte Literatur	37
9.2	Weiterführende Literatur	38

1 Allgemeines zur Frostprognose

Grundsätzlich wird zwischen Spätfrösten im Frühling, Frühfrösten im Herbst und Winterfrösten unterschieden. **In diesem Arbeitsbericht wird die Frostprognose im Frühling näher beleuchtet.**

Frostprognosen werden von professionellen Anwendern und Laien zur gezielten Frostabwehr benötigt. Vorbereitungen für Schutzmassnahmen, wie zum Beispiel das Begrienen oder Abdecken von Kulturen, werden auf der Basis von Frostprognosen für die kommende Nacht eingeleitet, aber auch längerfristige Prognosen werden benützt. **Die Vorhersage von Frost ist ein wichtiges Element der meteorologischen Dienstleistungen für die Landwirtschaft.** Fruchteanbauer in Kalifornien haben seit den frühen zwanziger Jahren spezielle Frostprognosen erhalten. Frostprognosen werden heute in den wichtigsten Fruchteanbaugebieten Nordamerikas und Europas herausgegeben. Sie werden aber auch für viele andere Nutzpflanzen in der Landwirtschaft und für alle übrigen Pflanzenkulturen gemacht und angewandt. Die Frostprognose enthält zum Beispiel die Angabe tiefer Temperaturen in der jüngsten Vergangenheit, die Dauer des Absinkens der Temperatur unter bestimmte Schwellwerte sowie Taupunkt und Feuchttemperatur, Höhe und Stärke von Temperaturinversionen und andere Wetterelemente wie Bewölkung, Windstärke und Niederschläge. Bei Studien über die Anwendung von Frostprognosen durch Fruchteanbauer im Yakima Valley im Staate Washington (Katz 1982 und Stewart 1984) wird versucht, den Wert von Frostprognosen für Obstbauern abzuschätzen: dabei werden 1700 bis 1800 US\$ pro Hektare errechnet. Eine andere Anwendung von Frostprognosen ist die Vorhersage der Frosttiefe zur Planung und Durchführung verschiedener Feldarbeiten.

1.1 Ueberblick über verschiedene Frostvorhersagemethoden

Es wird üblicherweise zwischen empirischen, halbempirischen und theoretischen Methoden unterschieden:

a) Die empirischen Formeln werden generell vorgeschlagen, wenn eine gute Korrelation besteht zwischen der gemessenen Minimumtemperatur gegen Ende der Nacht und einer oder mehreren Variablen, die mindestens einige Stunden vor dem Minimum gemessen werden und die relevant sind für die Stärke der atmosphärischen Abkühlung. Die empirischen Formeln verwenden vorgängig gemessene Lufttemperaturen, unterschiedliche Feuchtigkeitsmessungen, Windstärken und Bewölkungswerte. Diese werden zu fixen Zeiten erfasst, oft bei Sonnenuntergang oder zu einem Zeitpunkt, zu welchem die Variablen nicht zu schnell ändern. Cellier fasst 1982 zahlreiche empirische Gleichungen, welche ähnliche Variablen verwenden, zusammen. Die Unterschiede zwischen diesen Gleichungen deuten an, dass viele nur beschränkt allgemein angewandt werden können. Generell liefern sie befriedigende Resultate, wenn sie von erfahrenen Meteorologen mit guten Kenntnissen der lokalen Verhältnisse verwendet werden.

b) Die meisten halbempirischen Gleichungen resultieren von einer mehr oder weniger einfachen Analyse der Energiebilanz und des Wärmetransportes nahe des Bodens. Cellier (1982) macht auf die Schwierigkeit der Vorhersage des turbulenten Wärmetransportes bei Inversionslagen aufmerksam und bemerkt, dass die empiri-

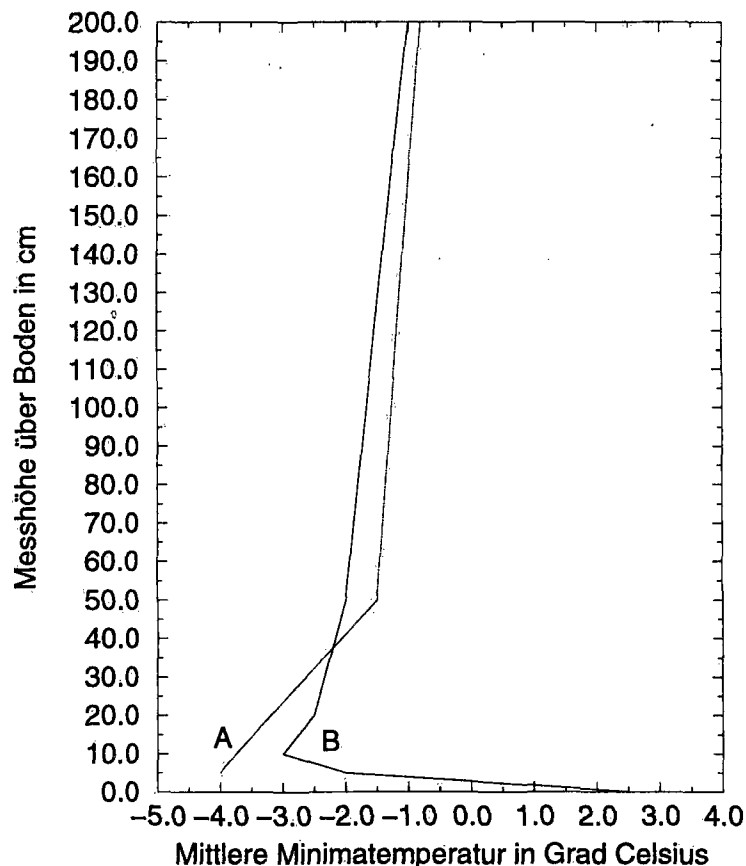
schen Gleichungen ähnlich befriedigende Resultate liefern.

c) In den letzten Jahren wurden erhebliche Fortschritte beim Verständnis des turbulenten Transportes während nächtlicher Abkühlungsbedingungen erzielt. **Einige numerische Modelle** wurden entwickelt, welche auf dem besseren Verständnis der Energieaustauschprozesse im Boden und in der unteren Atmosphäre aufbauen. Solche physikalisch-mathematischen Modelle können auch als Grundlage für die Frostprognose dienen. (Beispiele: Blackadar (1976), Sutherland (1980) und Cellier (1982), Heinemann und Martsolf (1988), Avissar und Mahrer (1988).)

1.2 Temperaturschichtung in guten Strahlungs Nächten

Zerche und Rosteck studieren 1961 mit Hilfe von Minimumthermometern das Temperaturprofil über dem Boden in windschwachen und wolkenarmen Nächten. Sie stellen fest, dass das Minimum der Kurve, das heisst **die tiefsten Temperaturen, in einer Höhe von 5 bis 20 cm** liegen. 1994 und 1995 in Payerne durchgeführte Vergleiche bestätigen in etwa dieses Resultat (Abb.1).

Abb.1: Mittlere Minimaprofile in Payerne in 16 windschwachen und wolkenarmen Nächten mit Frösten im Frühling der Jahre 1994 und 1995

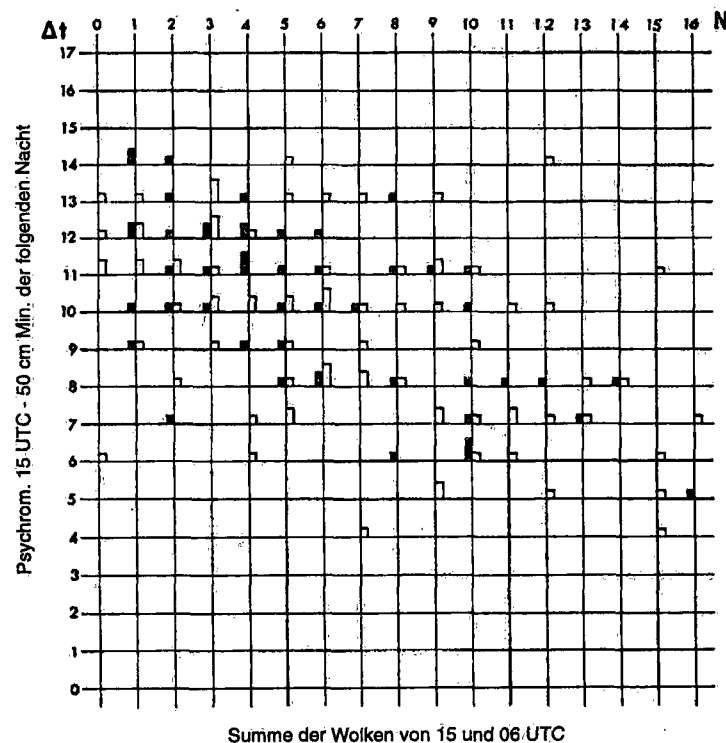


Bei der Kurve A handelt es sich dabei um Messwerte in 5, 50 und 200 cm Höhe der ASTA (Automatische Station der Schweiz), bei der Kurve B um Messwerte in 0, 2, 5, 10, 20, 50 und 200 cm Höhe der BSRN-Station (Baseline Surface Radiation Network). Die Fühler dieser Station sind alle unter einer leicht geneigten Abdeckung montiert. In allen Fällen ist der Boden schneefrei.

2 Kurze Geschichte der Frostprognose in der Schweiz und der bisherigen Methode

Ausgehend von empirischen Frostvorhersageregeln beurteilt Primault in seiner Studie über Frostgefahr und -vorhersage (1971) das Verhältnis zwischen Bewölkungsmenge und Differenz der am Nachmittag gemessenen Feuchttemperatur und des nachfolgenden nächtlichen Minimums. Im Gegensatz zu den üblichen meteorologischen Messstationen werden bei den rund 20 Froststationen, die in den wichtigsten Obst- und Rebbaugebieten der Schweiz liegen, die Temperaturen nicht in 2 m Höhe in einer geschützten Wetterhütte gemessen, sondern in 50 cm über Boden frei exponiert. Am Nachmittag werden die Feuchttemperatur abgelesen und die Wolken- und Windverhältnisse bestimmt. Am folgenden Morgen wird die nächtliche Tiefsttemperatur abgelesen. Da die Obstbäume und Reben (insbesondere ihre Blüten) während ihrer Entwicklung unterschiedlich frostempfindlich sind, braucht es zusätzlich phänologische Beobachtungen, welche den Entwicklungsstand der Pflanzen erfassen. Mit diesen Informationen und seiner 50 cm Minimumprognose für die Nacht entscheidet dann der Prognostiker, ob er eine Frostwarnung macht oder nicht; wenn ja, welche Regionen besonders gefährdet sind und wie weit die Temperaturen unter die kritischen Schwellwerte sinken. Dabei stützt er sich seit etwa 25 Jahren im wesentlichen auf Regressionen, die von 8 Regionen in den Niederungen der Alpennordseite, des Wallis und Nordbündens vorhanden sind.

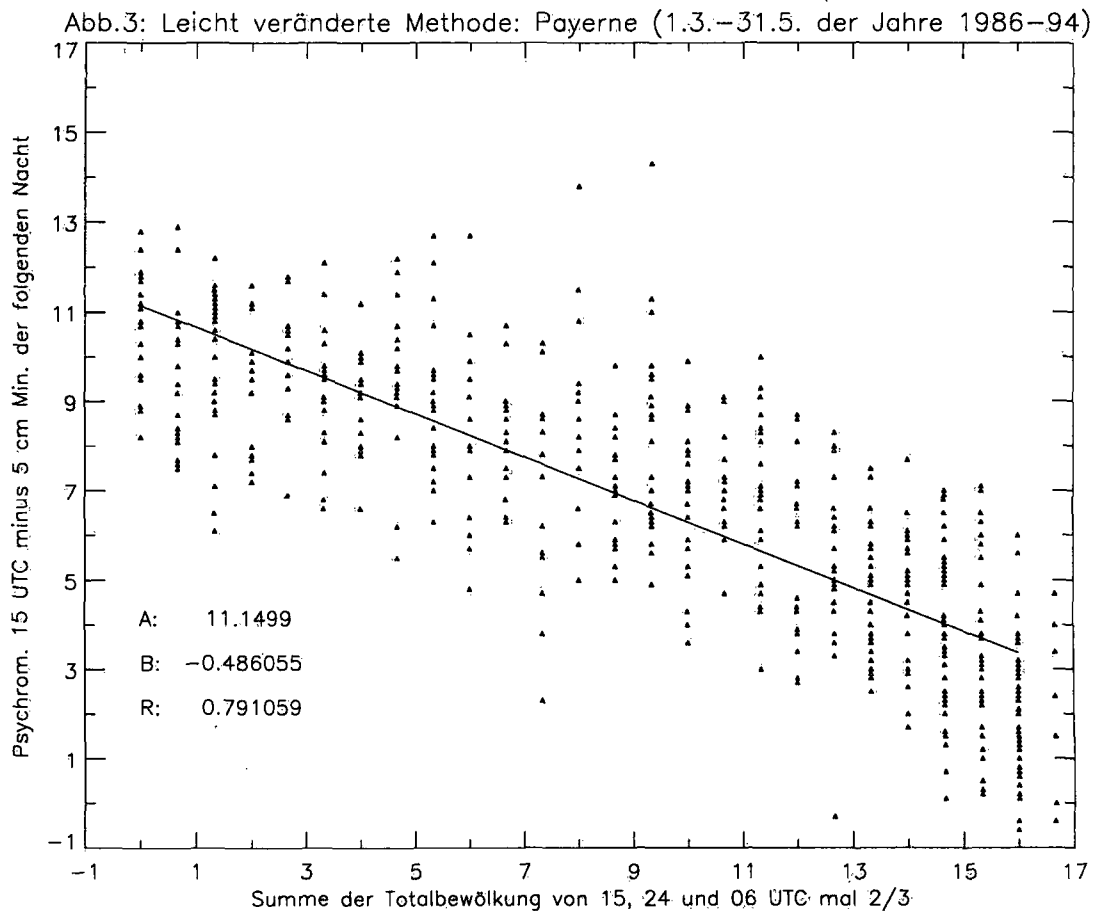
Abb. 2: Bisherige Methode mit manuell gemessenen Werten



Die Abbildung 2 (aus: Du risque de gel et de sa prévision. B. Primault 1971, Seite 9) zeigt als Beispiel die Relation für die Froststation Vétroz im Wallis. Die Länge des Balkens stellt die Anzahl der Fälle dar (1 Grad=10 Fälle), und zwar schwarz im April und weiss im Mai. Die daraus abgeleiteten Regressionen korrelieren insgesamt nur mässig: R liegt zwischen 0.551 und 0.770 (total 101-134 Fälle ohne Luftmassenwechsel). UTC=Universal Time Convention=Weltzeit, früher GMT(Greenwich Mean Time).

3 Versuche mit leicht veränderter Methode und automatischen Stationen

Zunächst wird versucht Primaults Methode leicht zu verändern und auf einige automatische Stationen der Schweiz zu übertragen: Bei der Bewölkung wird noch ein Termin hinzugefügt (Mitternacht) und für die Temperaturdifferenz wird neu das 5 cm Minimum verwendet. Zudem wird statt "ohne Luftmassenwechsel" definiert, dass der Wind zur Zeit des Minimums ≤ 2 m/s sein soll.



Die Abbildung 3 zeigt die leicht veränderte Relation an der automatischen Station Payerne: Die Regression korreliert zwar etwas besser als bei der bisherigen Methode, aber R ist immer noch <0.8 , $R^2 < 0.65$.

Legende:

A und B: Koeffizienten der Regression $Y=A + BX$

R: Korrelation

4 Neue Methode

4.1 Konzept

Die Differenz zwischen der 5 cm und der 2 m Minimumtemperatur ist auf Grund verschiedener Untersuchungen vor allem abhängig von der Windstärke und der Wolkenmenge (Steele 1969) und vom Erdbodenzustand (Lawrence 1960). Im Einklang mit den Arbeiten von Steele (1969 für Ostengland) und C. Floor (1989 für Eelde in Holland) wird diese Differenz folglich als Funktion der Wolkenmenge und des Windes definiert. Zunächst werden 3 bis 4 Wind- und Wolkenklassen unterschieden und getestet. Klassen, welche sich nicht signifikant unterscheiden, werden in der Folge zusammengefasst zu neuen Klassen: zum Beispiel die Wolkenklassen 0 bis 2 und 3 bis 5 Achtel, und zwar unabhängig von der Windstärke, oder alle Windklassen > 2 m/s bei Wolkenmengen $\geq 6/8$. Bei allen verwendeten Fällen ist der Erdbodenzustand entweder trocken, feucht oder seltener nass, alle Fälle mit Schnee und Eis werden ausgeschlossen. Es zeigt sich, dass der Erdbodenzustand insgesamt eine untergeordnete Rolle spielt. Einzig in sehr seltenen Fällen kann sich ein noch nasser Boden bei einer raschen Wetterbesserung dämpfend auf die Temperaturdifferenz in Bodennähe auswirken. Trotzdem wird dieser Fall bei der Berechnung der für Frost heikelsten Kategorie (wenig Wind und wenige Wolken) weggelassen. **Somit kann die 5 cm Minimumtemperatur im wesentlichen mit Hilfe von je zwei Wolken- und Windklassen und dem 2 m Minimum vernünftig berechnet werden ($Y=A+BX$):**

Windstärke: Klassen:
FF ≤ 2 m/s (wenig Wind)
FF > 2 m/s (viel Wind)

Wolkenmenge:
N $< 6/8$ (wenige Wolken)
N $\geq 6/8$ (viele Wolken)

4.2 Verwendete Daten

Für die Berechnung der Regressionen werden die mittlere Windgeschwindigkeit der ASTA (Automatische Station) und die Beobachtung der Totalbewölkung zwischen 02 und 03 Uhr UTC verwendet (als mittlere Werte der zweiten Nachthälfte). Für die 5 cm und 2 m Minima wird das Zeitfenster zwischen 00 und 06 Uhr UTC gewählt, weil gegen den Morgen hin am häufigsten Fröste auftreten. Auch hier handelt es sich um Messwerte der ASTA. Der Erdbodenzustand ist wie die Wolkenmenge von Auge beobachtet, und zwar um 06 Uhr UTC.

4.3 Zeitraum und Stationen

Der Zeitraum der statistisch ausgewerteten Daten erstreckt sich von 1986 bis 1994, und zwar jeweils von Anfang März bis Ende Mai (Spätfröste im Frühling).

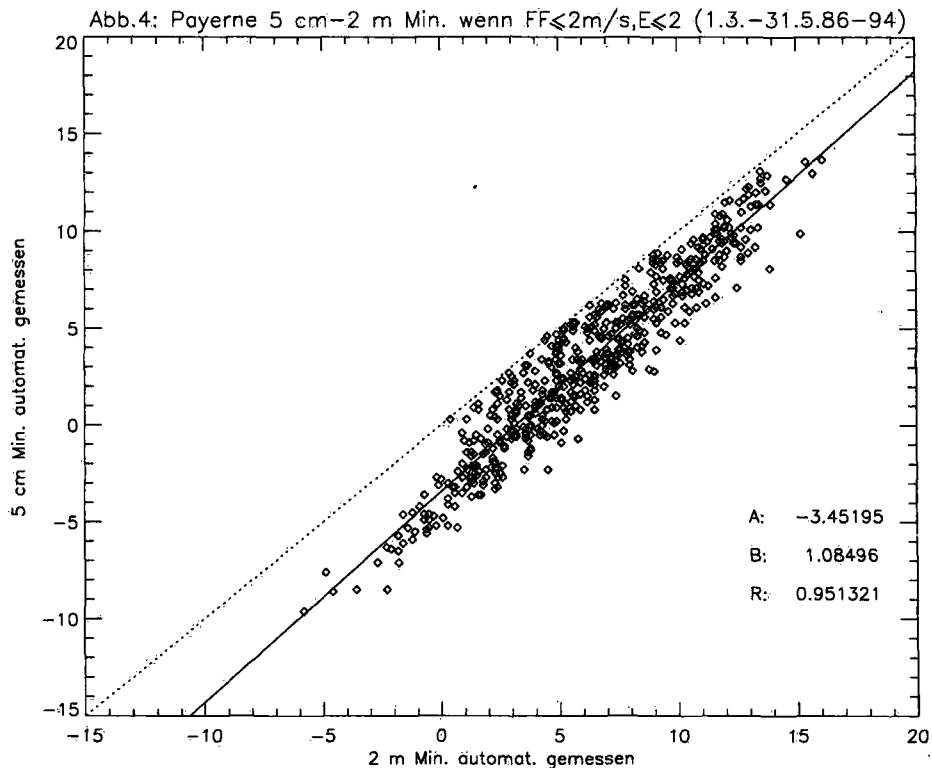
Ausgewertet werden alle automatischen Stationen in den Niederungen, bei denen die Beobachtung der Totalbewölkung zwischen 02 und 03 Uhr UTC vorhanden ist. Es sind dies folgende Stationen: Genf, Payerne, Fahy, Wynau, Kloten, Vaduz, Chur, Altdorf, Interlaken, Sion, Locarno-Magadino und Stabio.

4.4 Regressionsgeraden für Payerne

Die folgenden Abbildungen 4 bis 8 zeigen die Regressionsgeraden mit der neuen Methode für Payerne, und zwar die erste für alle Fälle mit wenig Wind, die folgenden für die vier am häufigsten vorkommenden Kategorien: zuerst die Kategorie mit wenigen Wolken und wenig Wind (ohne nassen Boden: am heikelsten bei Frostgefahr), dann die Kategorie mit vielen Wolken und wenig Wind, die Kategorie mit wenigen Wolken und viel Wind und zuletzt die Kategorie mit vielen Wolken und viel Wind. **Insgesamt sind die Korrelationen $R > 0.95$ und $R^2 > 0.90$.** Die einzelnen Ausreisser sind vor allem auf rasch ändernde Wetterverhältnisse zurückzuführen.

Fazit: Die Korrelationen zwischen 2 m und 5 cm Min. sind für meteorologische Verhältnisse ausgesprochen gut und folglich für den Frostprognose- und warn-dienst sehr nützlich. Zudem können die Regressionen der neuen Methode mit Hilfe des ANETZ' laufend kontrolliert und wenn nötig modifiziert werden.

Abb.4 zeigt die Regressionsgerade für alle Fälle mit wenig Wind, Abb.5 bis 8 die Regressionsgeraden für die vier wichtigsten Kategorien:



Legende für die Abbildungen 4 bis 8:

FF: mittlere Windgeschwindigkeit in m/s um ca. 02.30 UTC

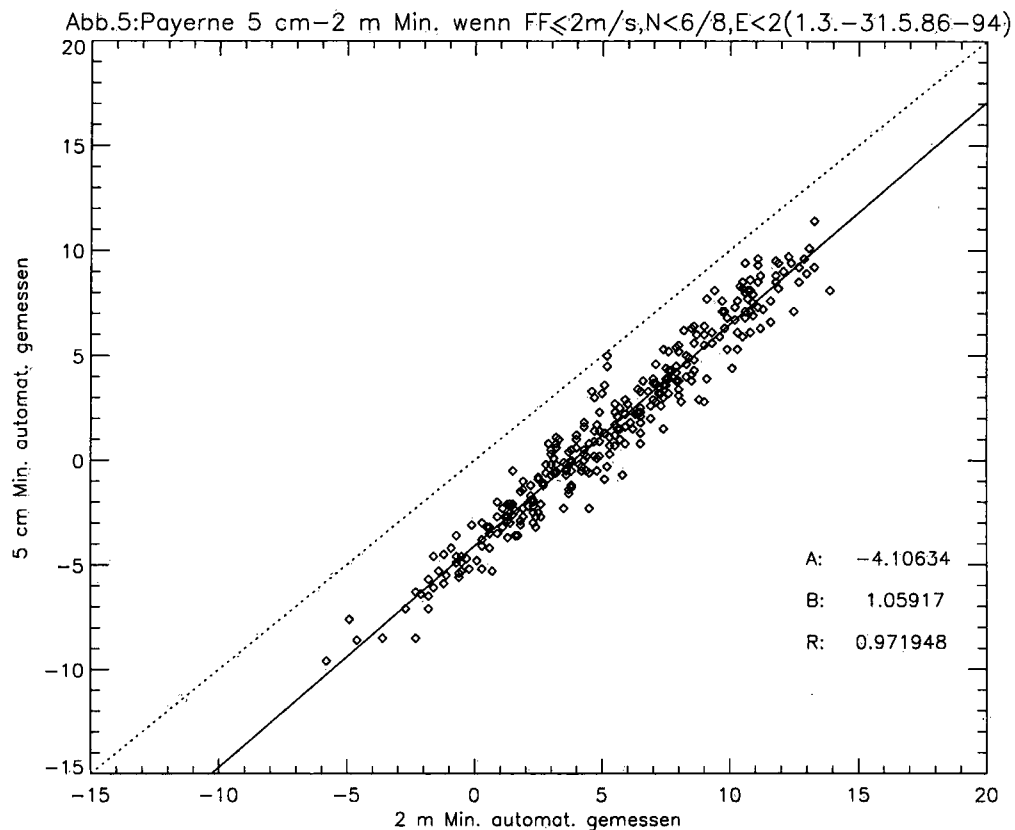
N: totale Wolkenmenge in Achteln um ca. 02.30 UTC

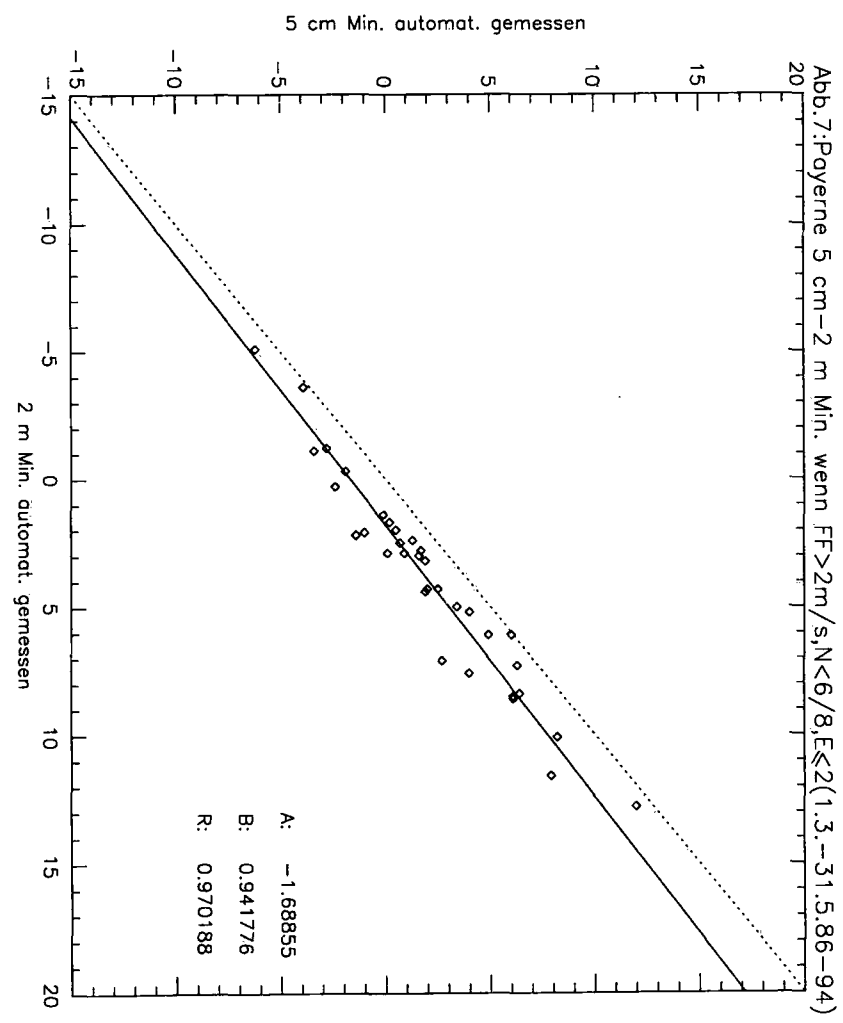
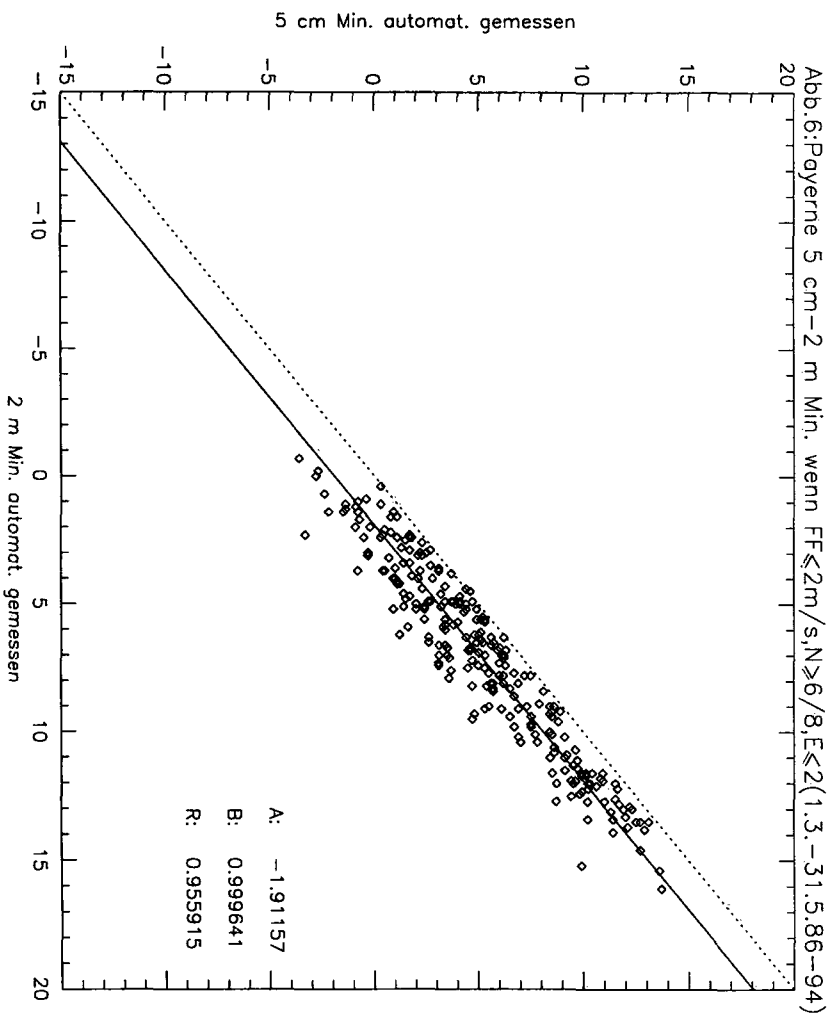
E: Erdbodenzustand um ca. 06 UTC: Code 0=trocken, 1=feucht, 2=nass

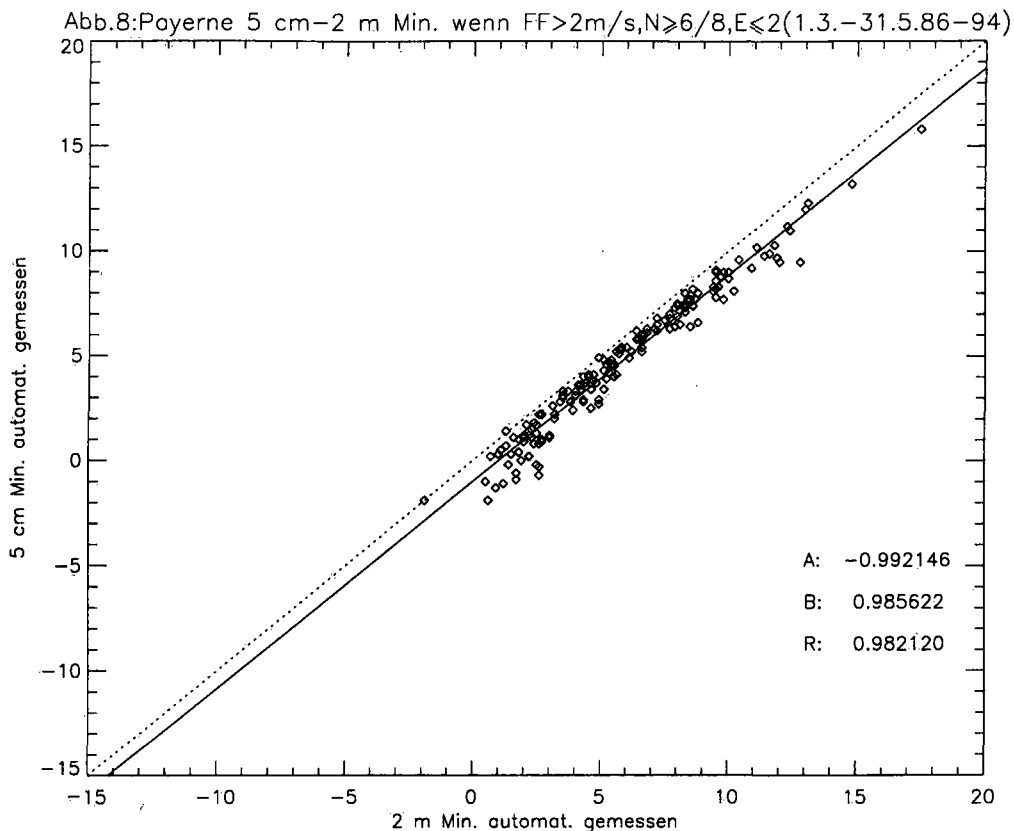
A und B: Koeffizienten der Regression $Y=A+BX$

R: Korrelation

Anzahl der Fälle bzw. Tage: total ca. 800







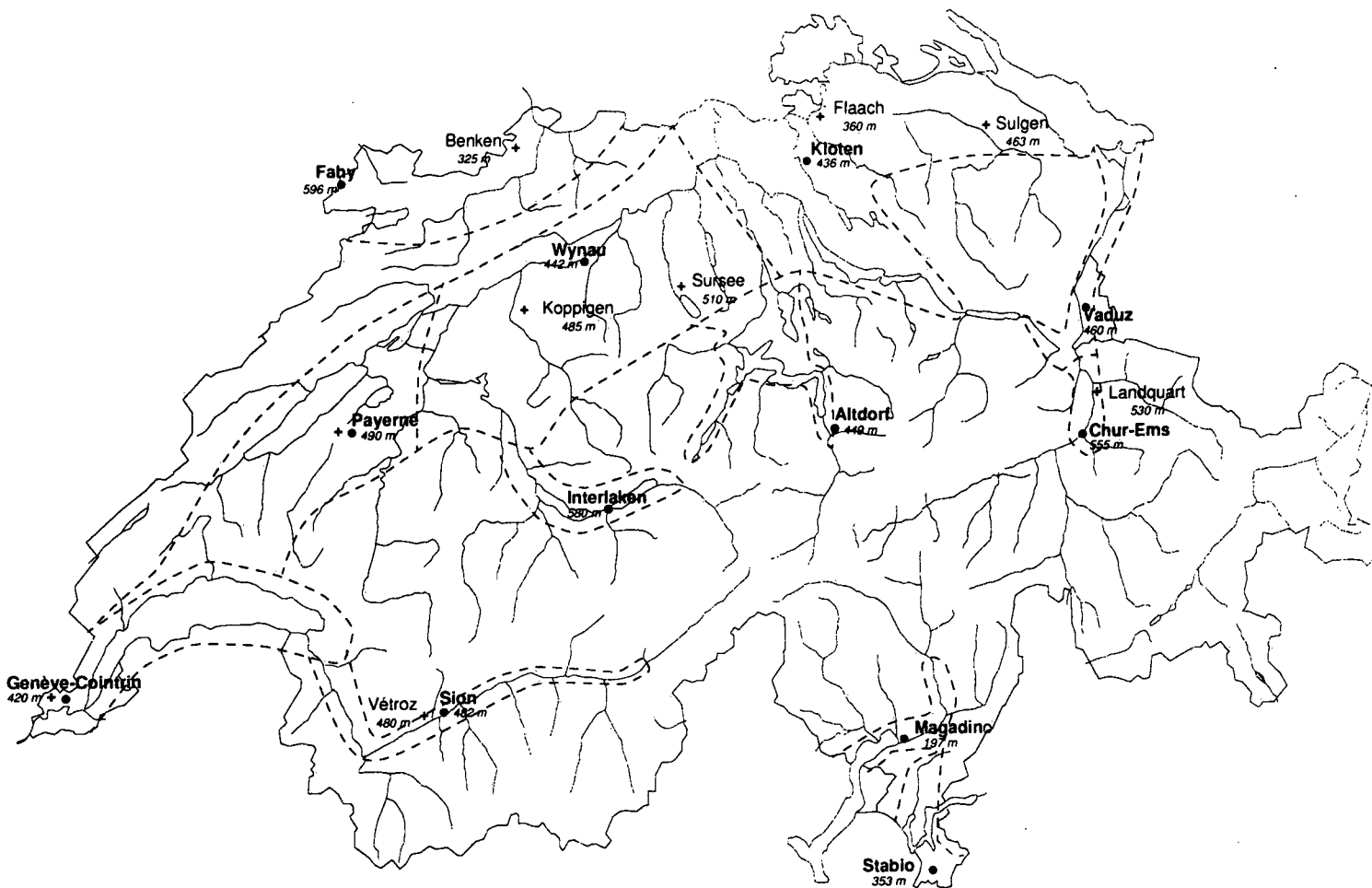
4.5 Räumliche Verteilung und Repräsentativität

Die neuen Frost-Referenz-Stationen sind wie folgt für die verschiedenen Regionen der Schweiz repräsentativ (5 cm Min. im Vergleich zu anderen ASTA's in der Region):

- Genf=>Genferseegebiet: 1 bis 3°C kälter als Changins und Pully
- Payerne=>Westliches Mittelland: 1 bis 3°C kälter als Bern und Neuenburg
- Fahy=>Juranordfuss/Region Basel: 0 bis 2°C wärmer als Basel und Rünenberg
- Wynau=>Zentrales Mittelland: vergleichbar mit Buchs-Suhr und Bern
- Kloten=>Oestliches Mittelland: vergleichbar mit SMA, Reckenholz, Tänikon, Güttingen und Schaffhausen
- Vaduz=>St. Galler Rheintal: vergleichbar mit Montlingen
- Chur=>Bündner Rheintal: vergleichbar mit Landquart
- Altdorf=>Zentralschweiz: 1 bis 3°C wärmer als Luzern
- Interlaken=>Berner Oberland: vergleichbar mit Bern
- Sion=>Wallis: 0 bis 2°C wärmer als Visp und Aigle
- Magadino=>Mitteltessin: 1 bis 3°C kälter als Locarno-Monti
- Stabio=>Südtessin: 1 bis 3°C kälter (geschätzt, da Lugano nicht repräsentativ)

Repräsentativität: Verglichen wurde im allgemeinen mit allen anderen ASTA's der Region, und zwar in guten Strahlungs Nächten vom März bis Mai 1996 und 1997 (durchschnittlich 30-50 Fälle, an denen am Vortag und am Tag des 5 cm Minimums mehr als 70 % Sonnenschein pro Tag gemessen wurde). Einzig in Chur und Vaduz mussten konventionelle Froststationen zum Vergleich herangezogen werden.

Abb.9: Verteilung der alten (+) und neuen (●) Referenz-Stationen



Von diesen Stationen ist auf den folgenden Abb.10 bis 21 jeweils die wichtigste Regression abgebildet: Kategorie mit wenigen Wolken, wenig Wind und Bodenzustand trocken oder feucht. Die einzelnen Ausreisser sind entweder auf Mess- und/oder Beobachtungsfehler sowie besonders auf rasch ändernde Wetter-, insbesondere Bewölkungsverhältnisse zurückzuführen. Verglichen werden 5 cm und 2 m Min. zwischen 00 und 06 UTC. Abbildung 11 entspricht dabei der bereits vorher gezeigten Abbildung 5.

Fazit: Auch gesamtschweizerisch sind die Korrelationen von 2 m und 5 cm Min. für meteorologische Verhältnisse erstaunlich gut, und zwar im Mittel: $R=0.95$, $R^2=0.9025$. Im Mittelland und im Mittel- und Südtessin sind sie etwas höher als in den Alpen. In Fahy ist die Korrelation $R=0.90$ und $R^2=0.81$ am wenigsten hoch, aber immer noch recht gut.

Abb.10: Genf 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2 \text{ m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)

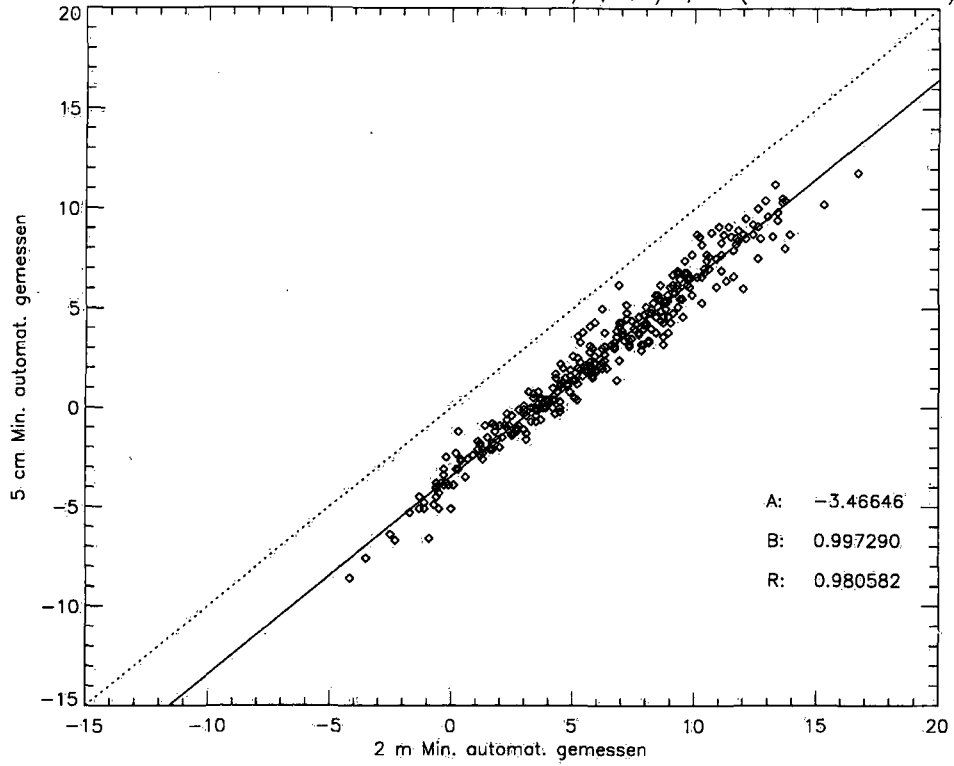


Abb.11: Payerne 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2 \text{ m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)

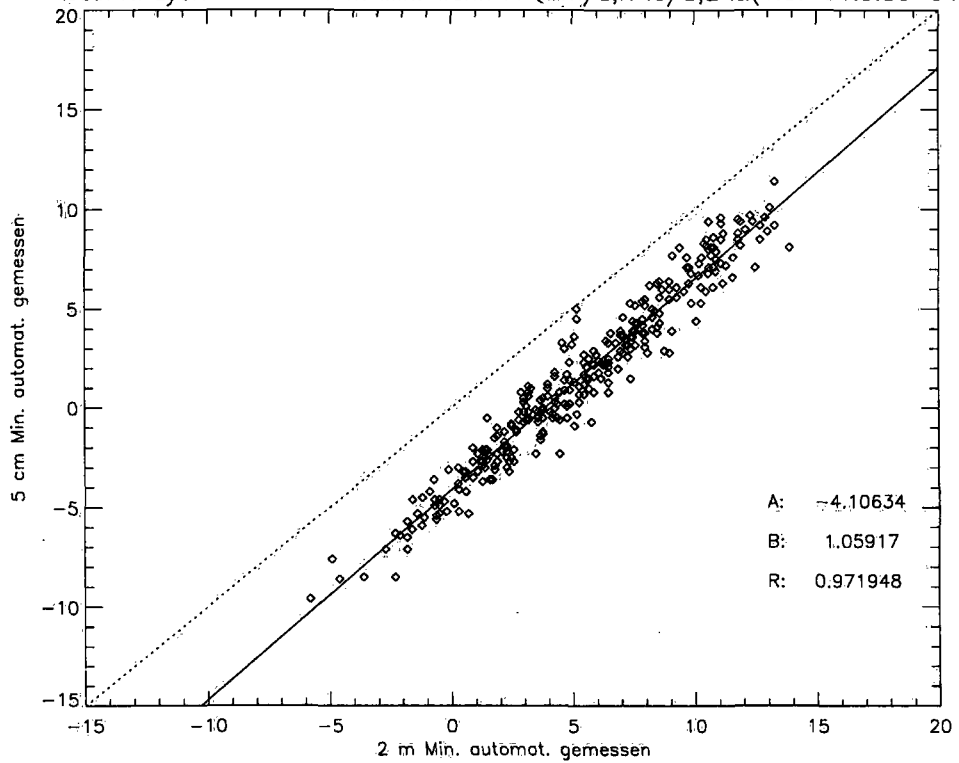


Abb.12: Föhny 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2\text{m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)

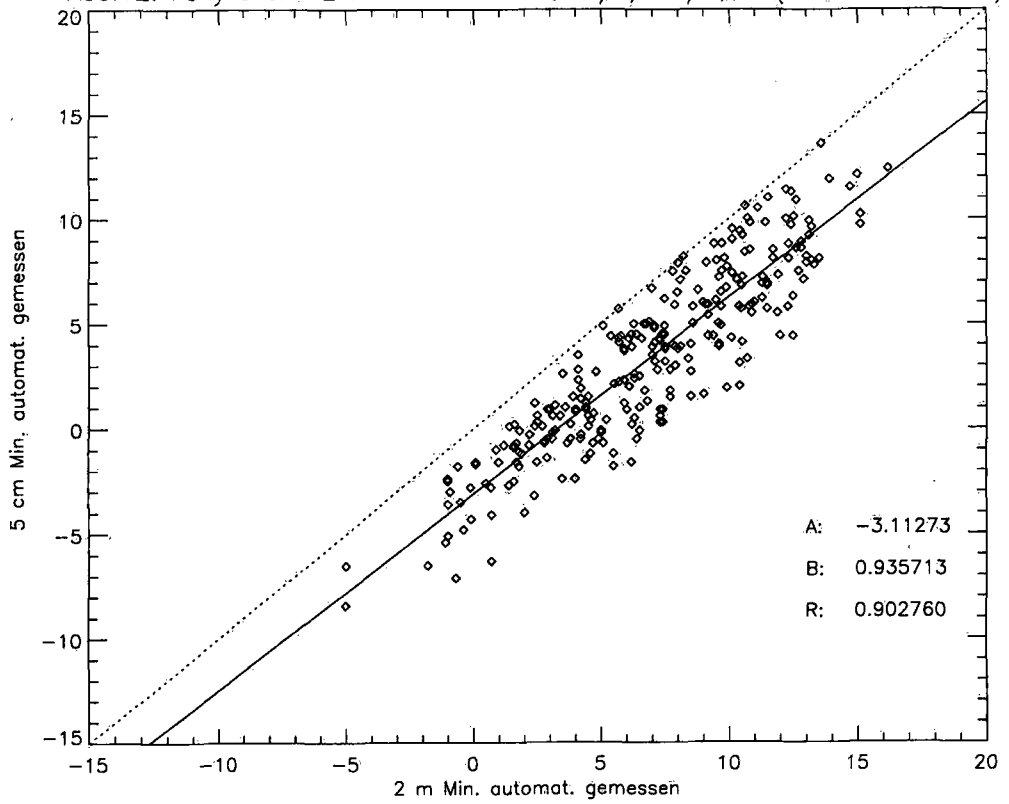


Abb.13: Wynaü 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2\text{m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)

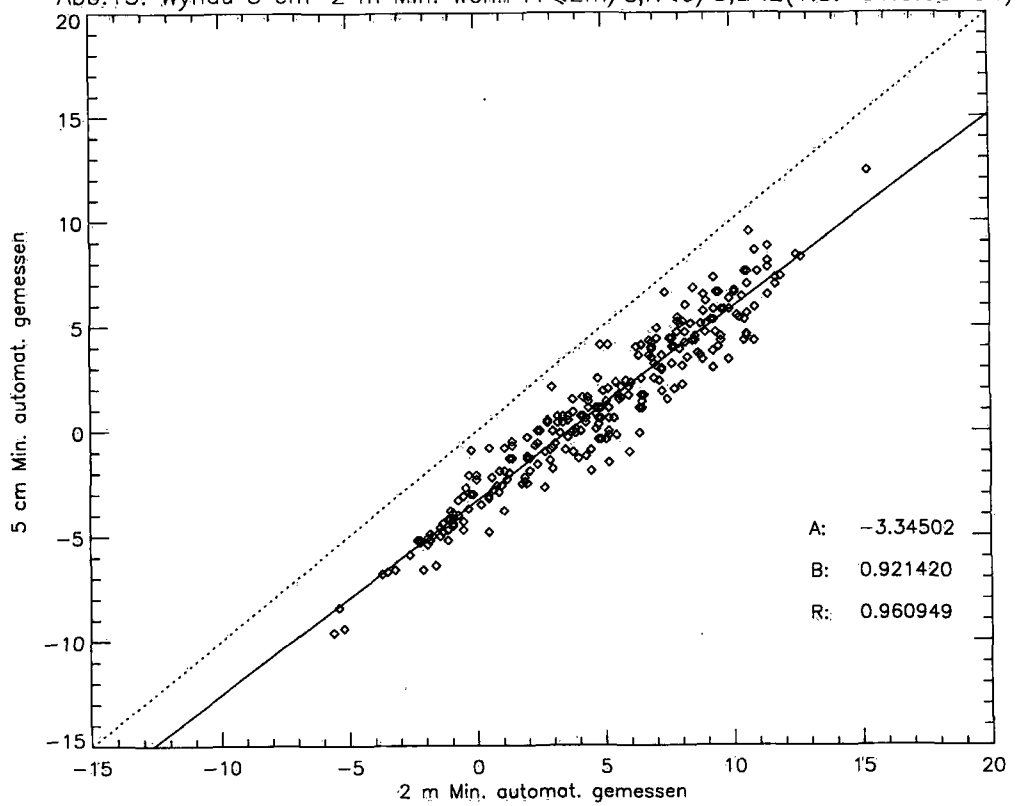


Abb.14: Klotten 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2 \text{ m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)

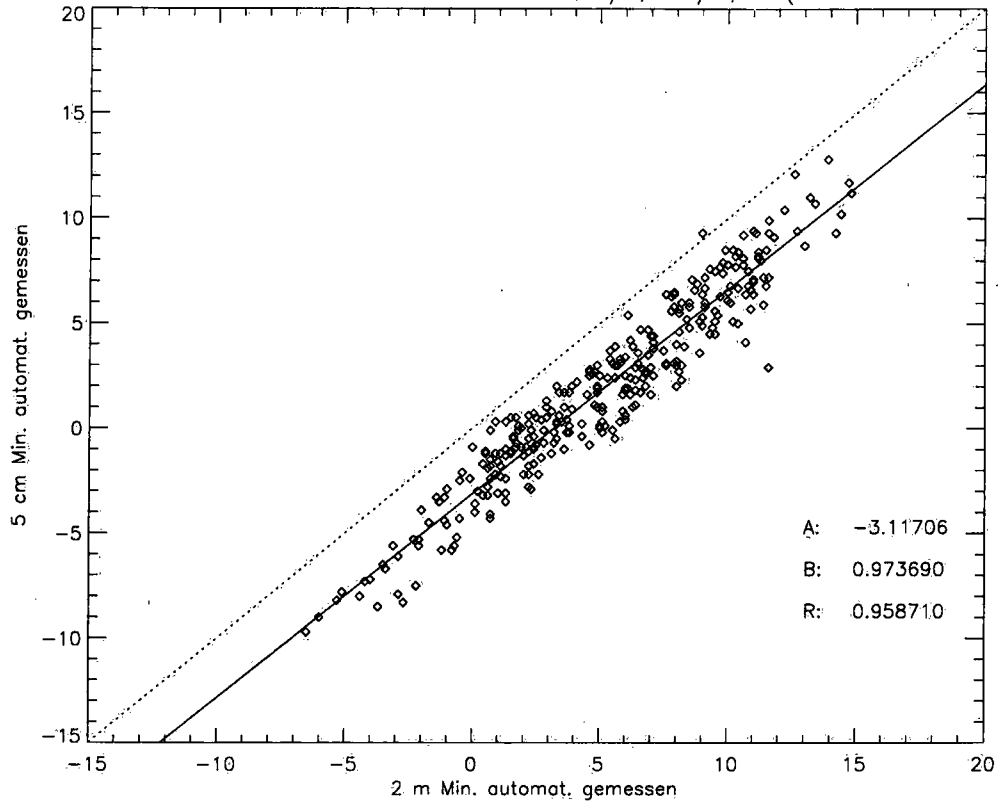
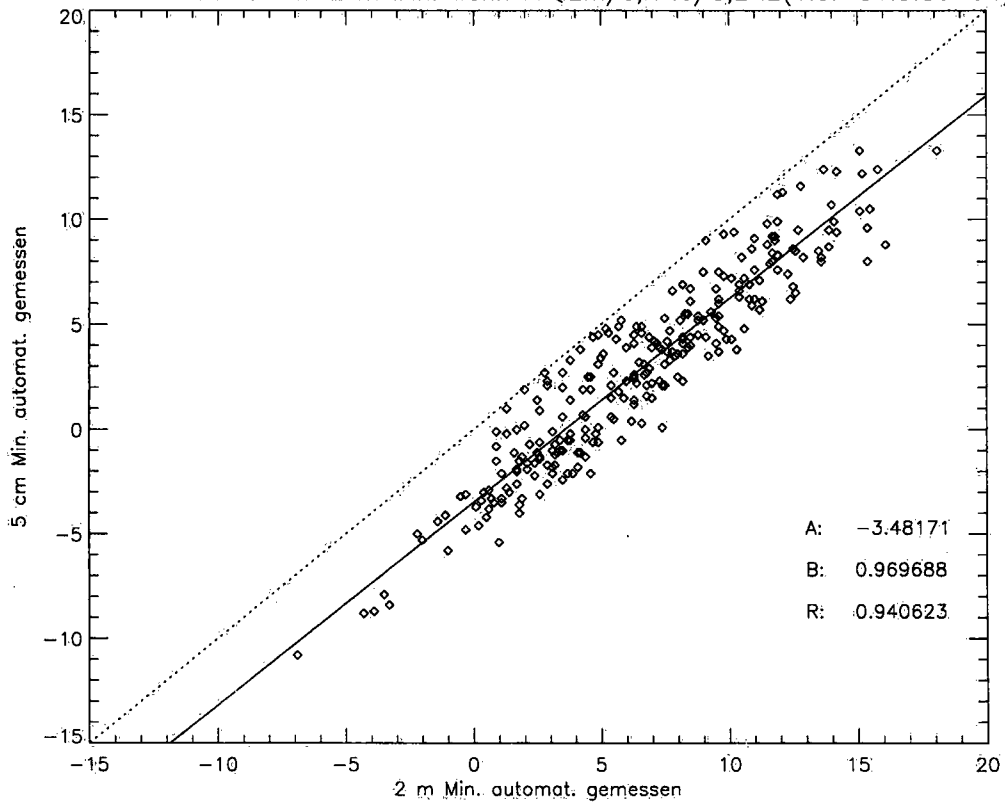
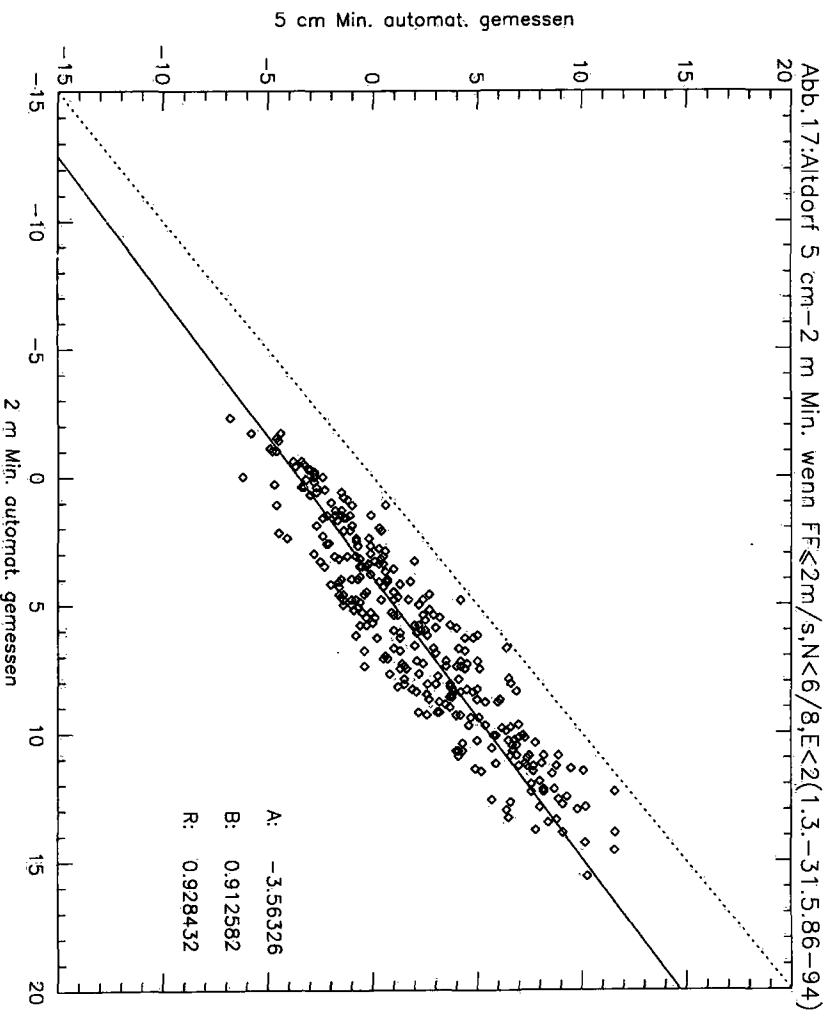
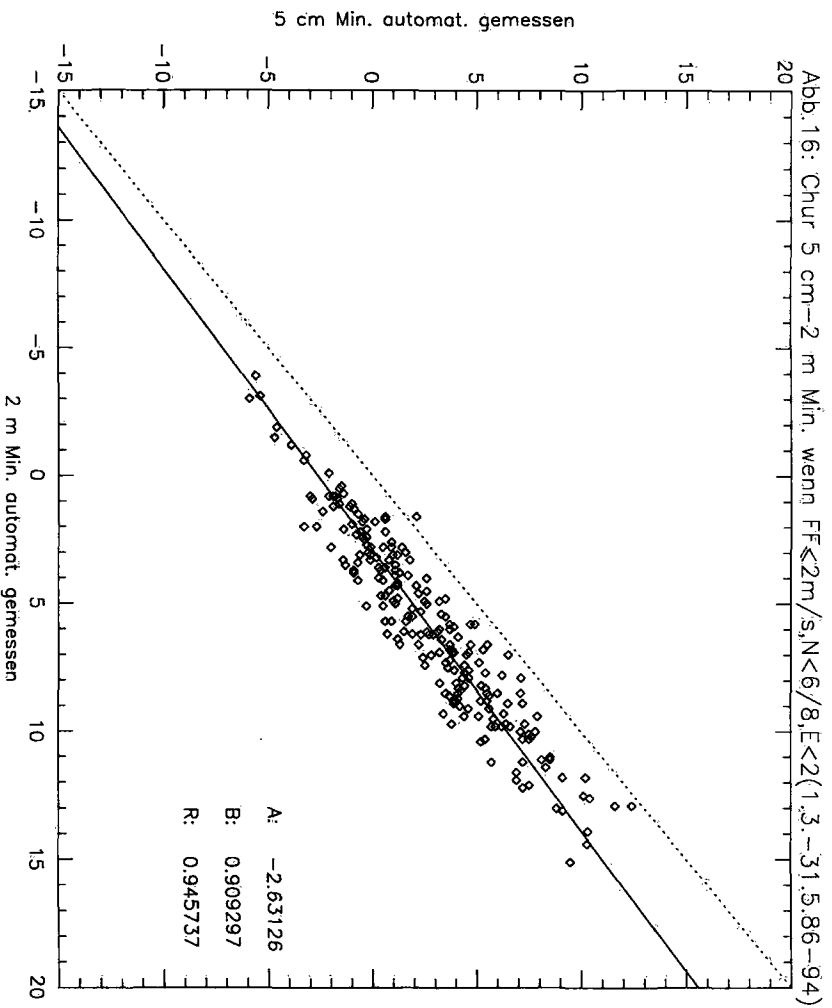
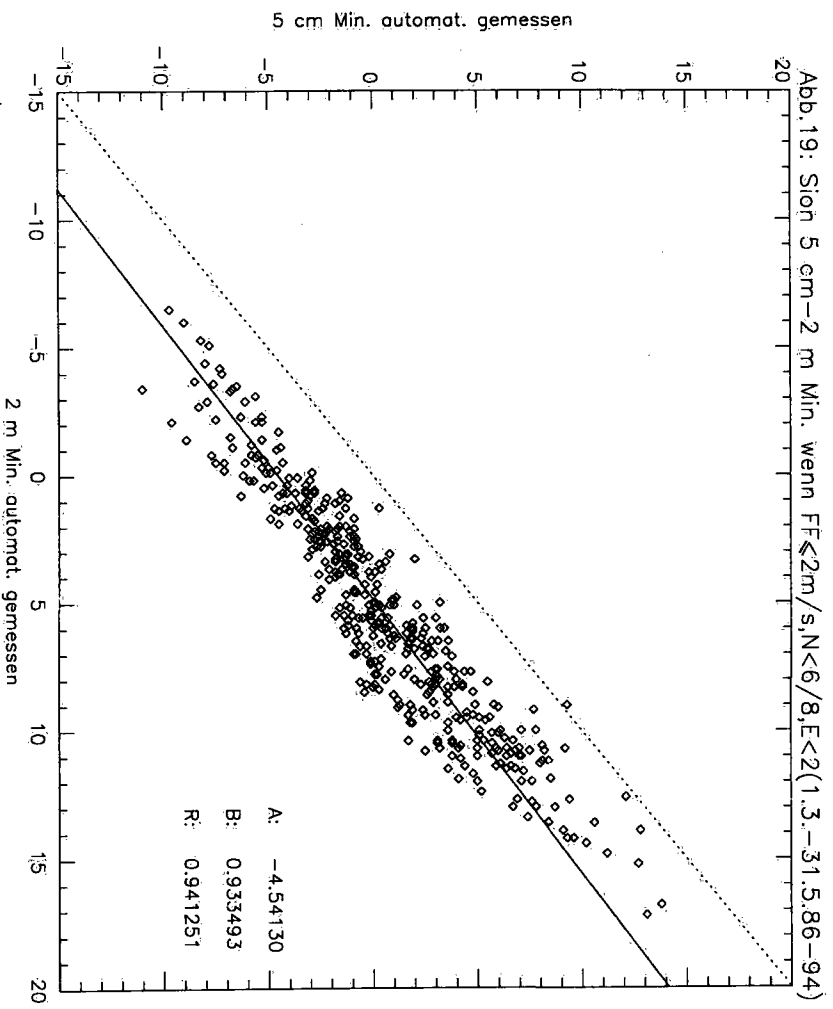
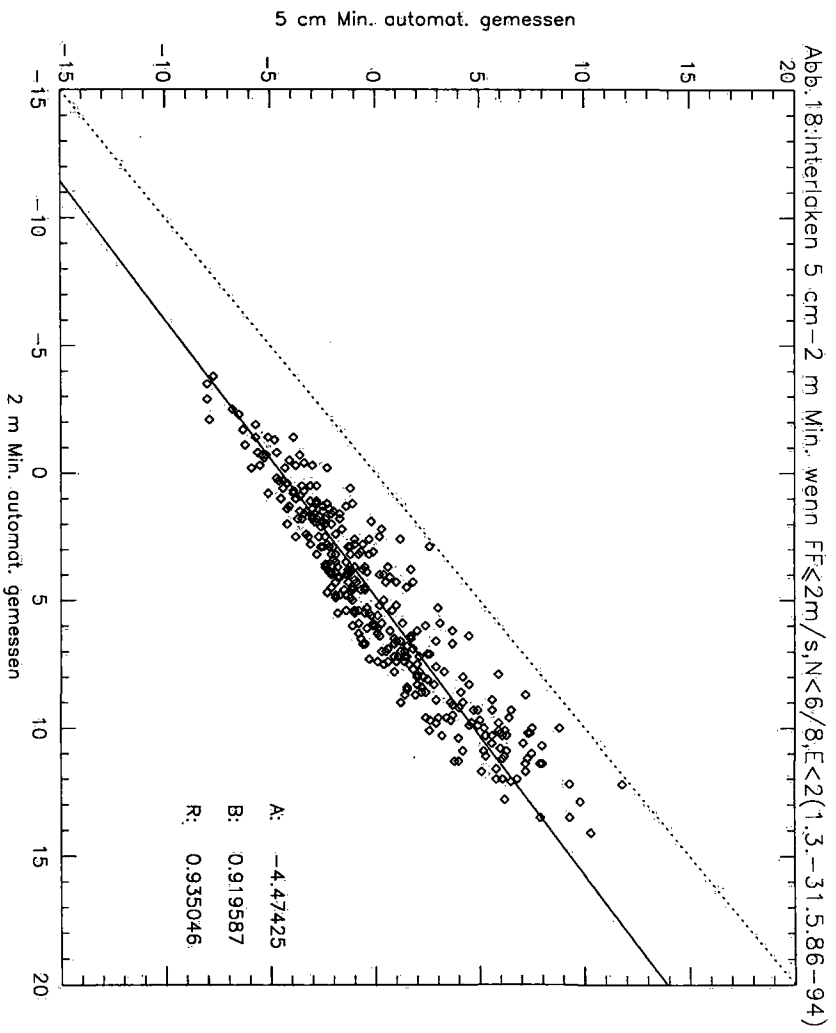
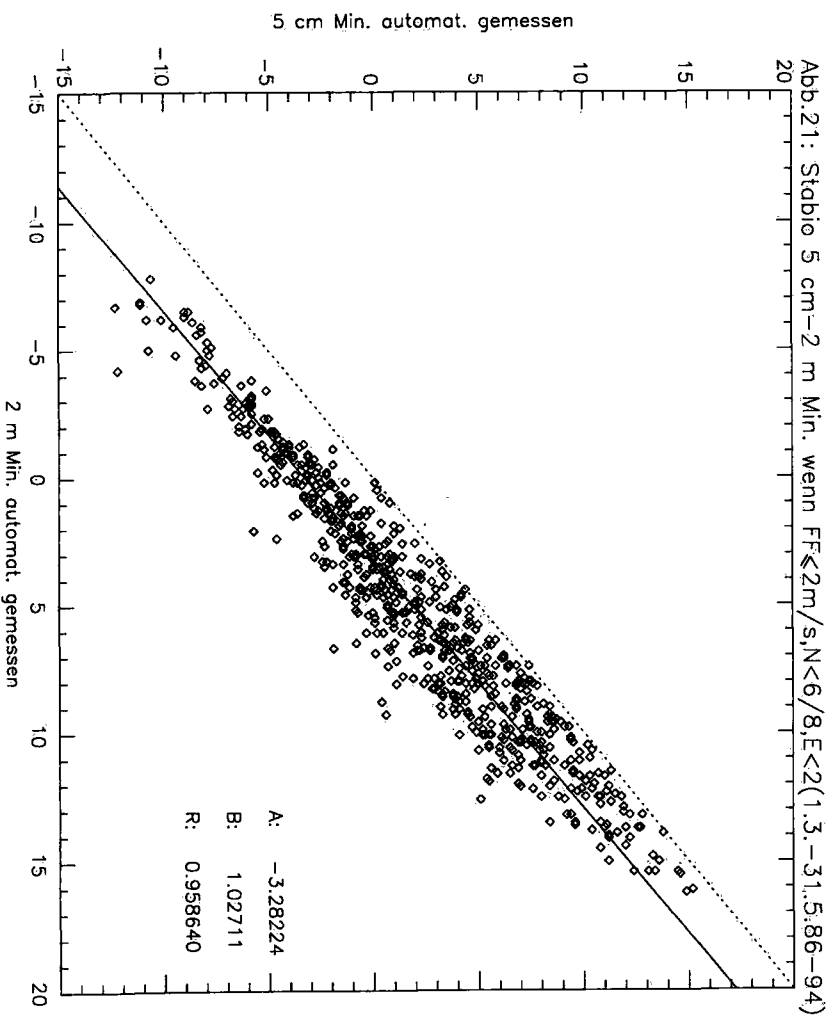
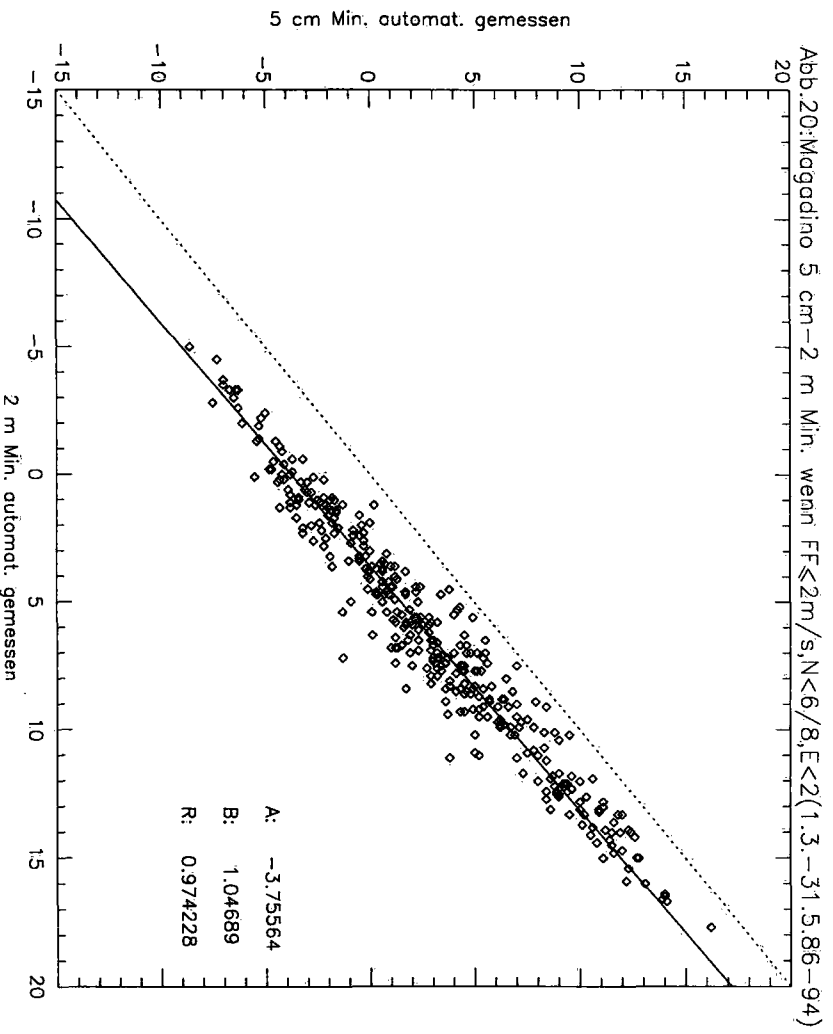


Abb.15: Vaduz 5 cm-2 m Min. wenn $FF \leq 2 \text{ m/s}$, $N < 6/8$, $E < 2$ (1.3.-31.5.86-94)









5 Betriebstest im Frühling 1996 und 1997

5.1 Anwendung der neuen Methode mit gemessenen Werten (perfect prognosis)

Während der Frostperiode 1996 wird die neue Methode mit gemessenen Werten angewandt und ausgewertet. **Es handelt sich dabei um eine unabhängige Stichprobe.** Die folgenden Abbildungen 22 bis 29 zeigen die Resultate. Die mit beobachteten (Wolken) bzw. gemessenen (Wind und 2 m Min.) Daten berechneten und die gemessenen 5 cm Minima werden verglichen. Dabei wird bei allen Stationen nur die für Frost interessanteste Kategorie (wenige Wolken, wenig Wind bei trockenem oder feuchtem Boden) betrachtet. Die Anzahl der Fälle bzw. Tage beträgt insgesamt ca. 60. **Zur Berechnung werden ausschliesslich beobachtete bzw. gemessene Daten verwendet, was einer perfekten Prognose entspricht** (keine vom Modell und/oder Menschen prognostizierten Werte). Da im Tessin in der Nacht keine Wolkenbeobachtungen mehr gemacht werden, fehlt diese Region bei dieser Stichprobe.

Legende für die Abbildungen 22 bis 29:

NM: Neue Methode mit gemessenen Parametern

N: totale Wolkenmenge in Achteln

FF: Windstärke in m/s

E: Erdbodenzustand Code 0=trocken, 1=feucht, 2=nass

M: Mittel der Differenz

StD: Standardabweichung

R: Korrelation

Anzahl der Fälle bzw. Tage: total ca. 60 (unabhängige Stichprobe)

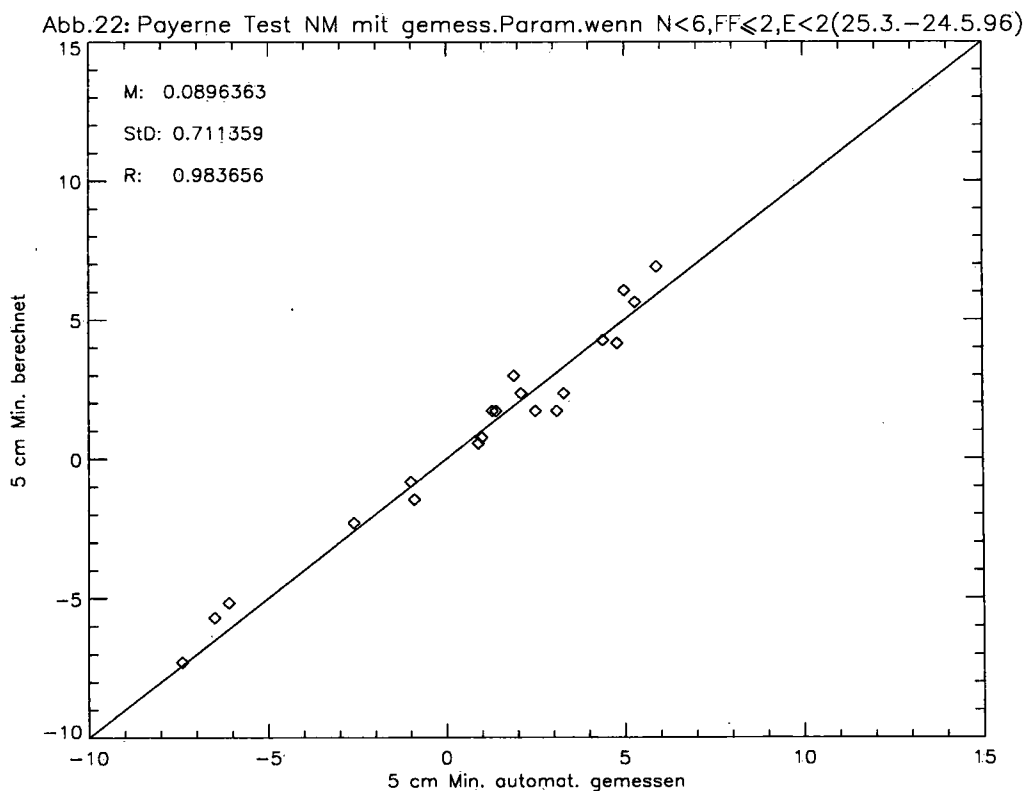


Abb.23: Fahy Test NM mit gemess. Param. wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2$ (25.3.-24.5.96)

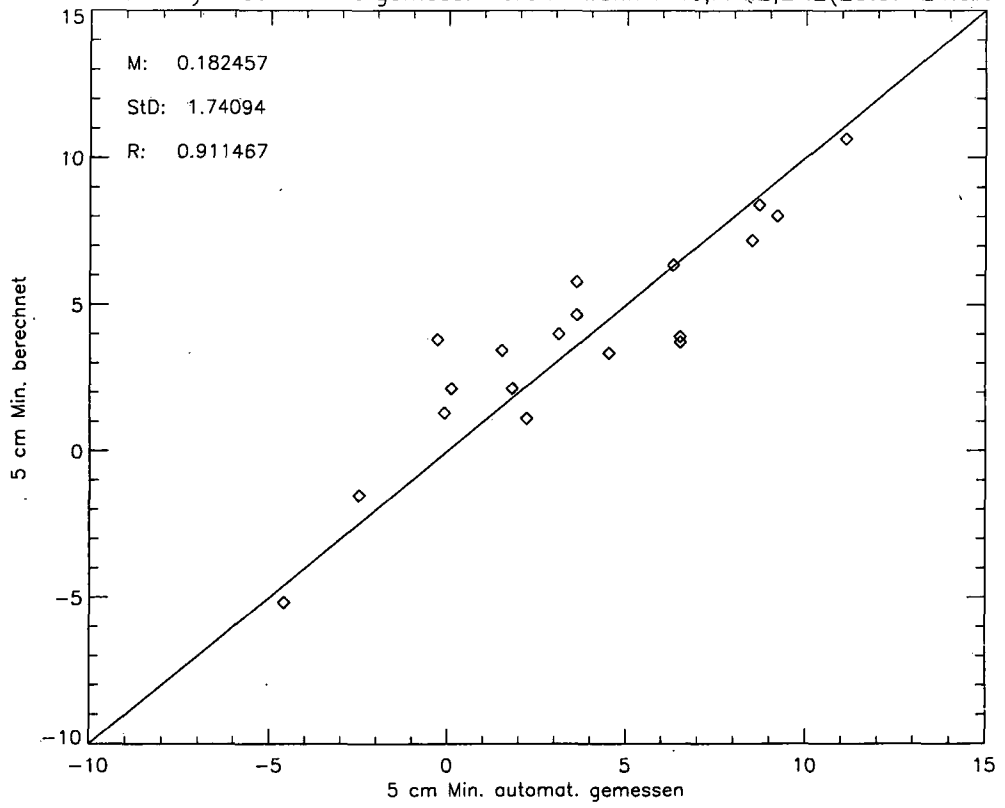


Abb.24: Wyndu Test NM mit gemess. Param. wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2$ (25.3.-24.5.96)

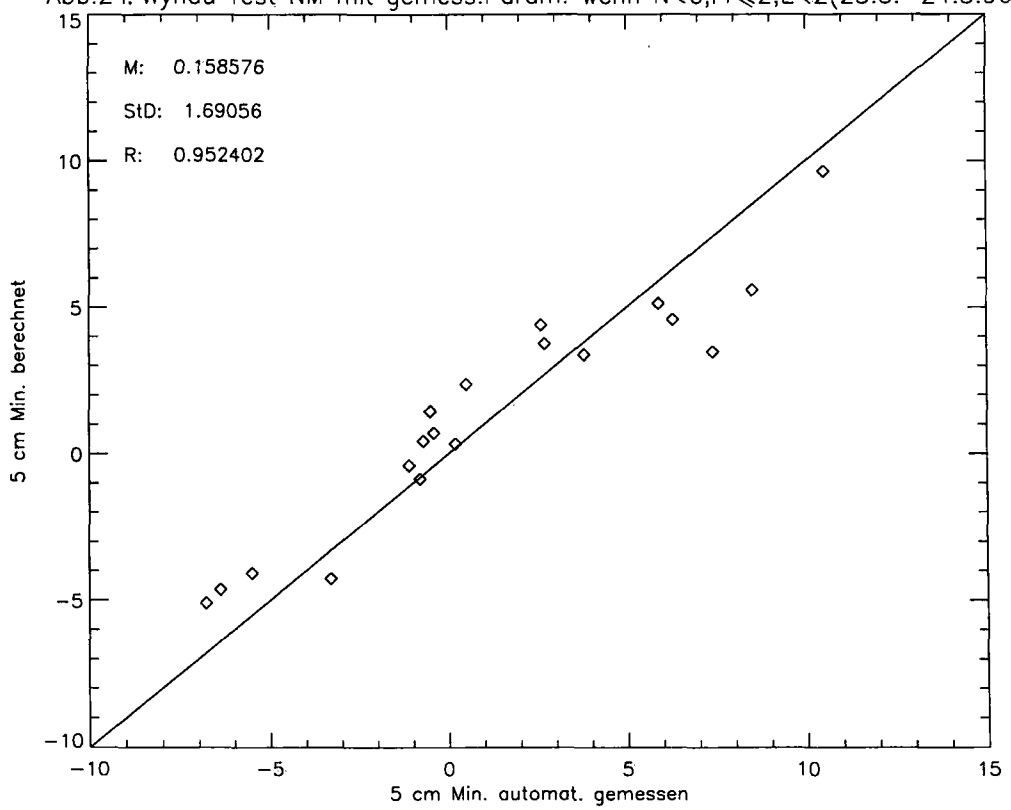


Abb.25: Kloten Test NM mit gemess.Param.wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2$ (25.3.-24.5.96)

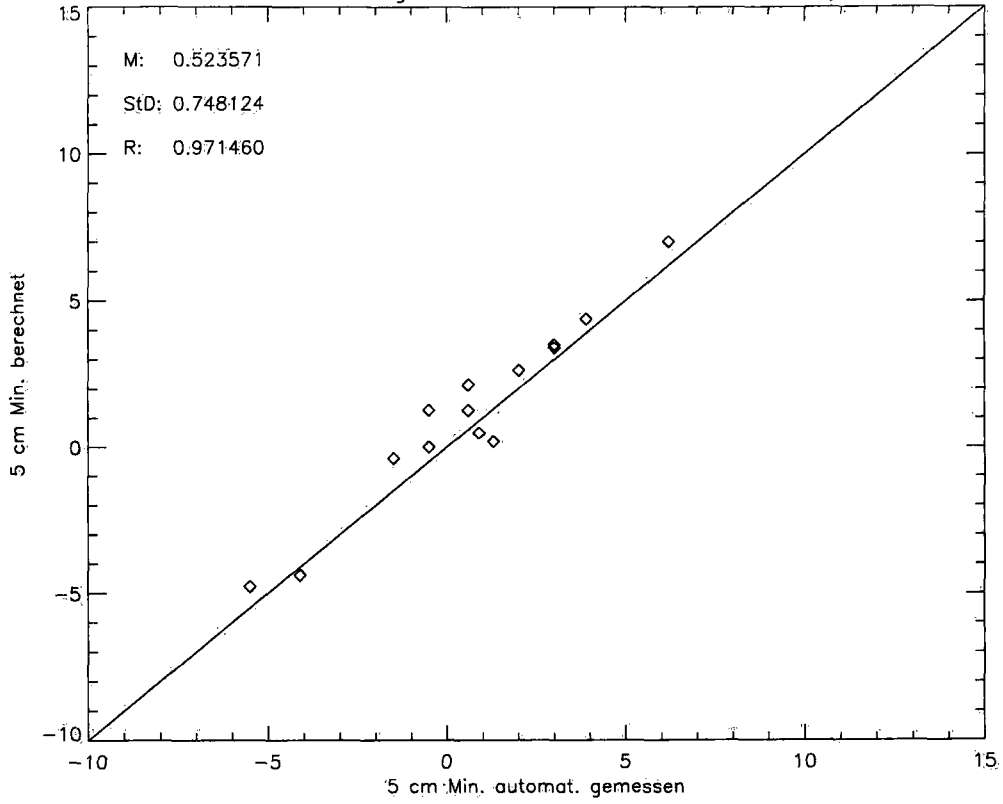


Abb.26: Vaduz Test NM mit gemess.Param. wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2$ (25.3.-24.5.96)

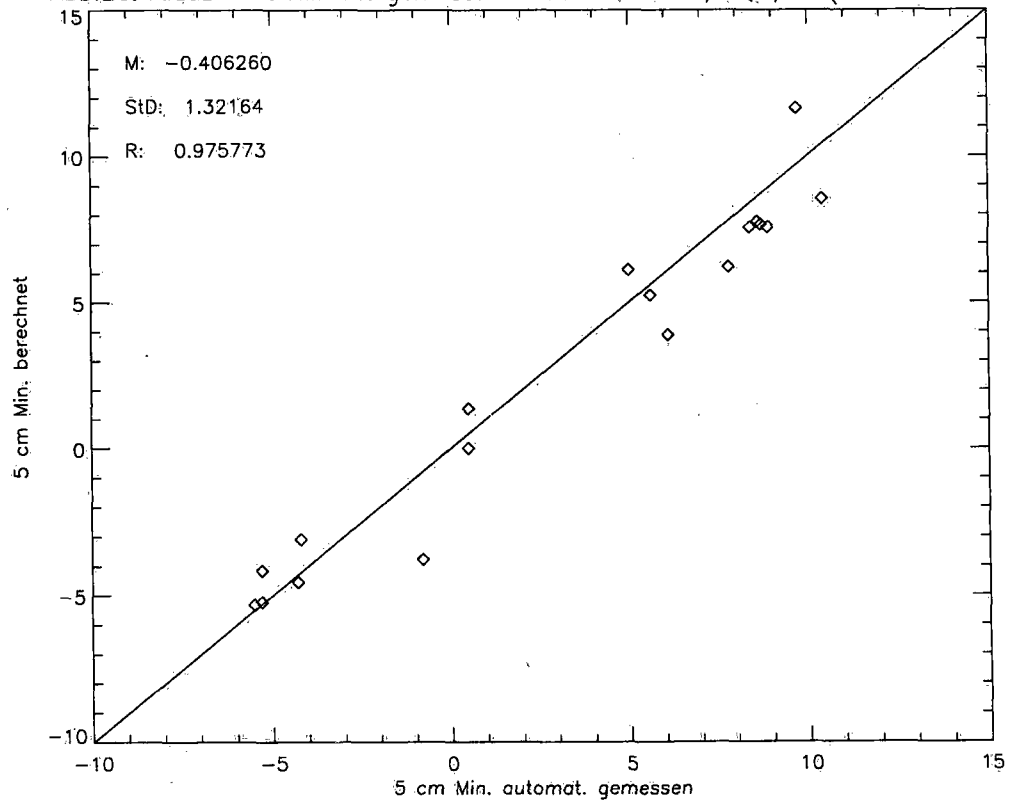


Abb.27: Chur Test NM mit gemess. Param. wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2(25.3.-24.5.96)$

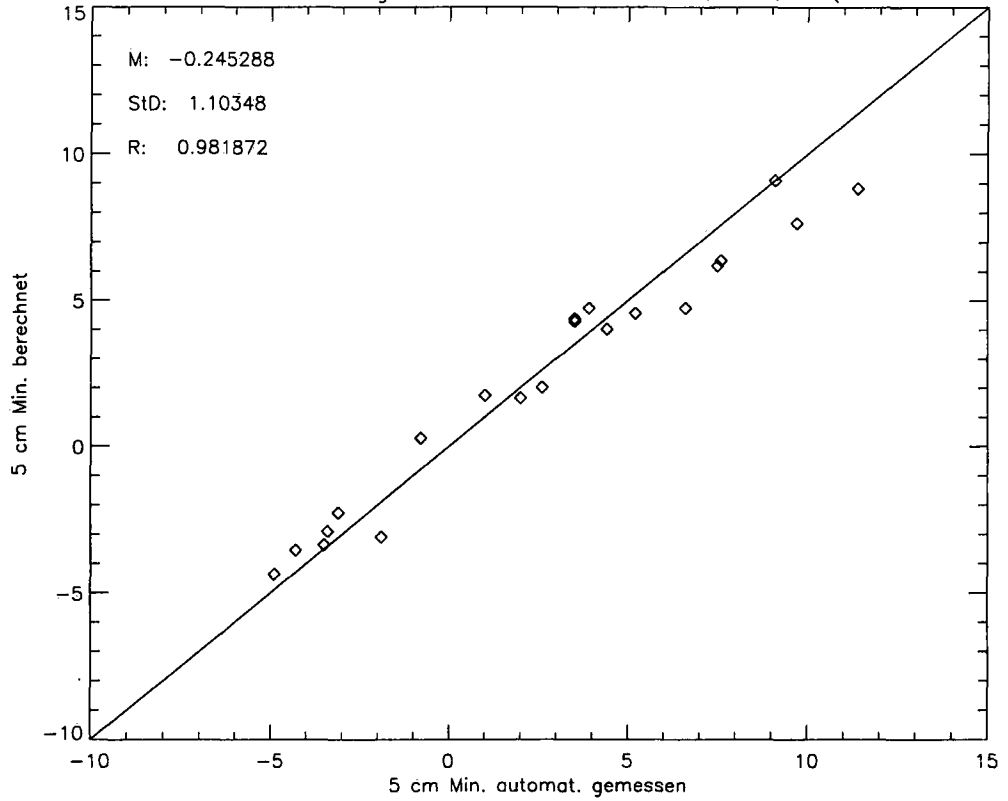


Abb.28: Altdorf Test NM mit gemess. Param. wenn $N < 6, FF \leq 2, E < 2(25.3.-24.5.96)$

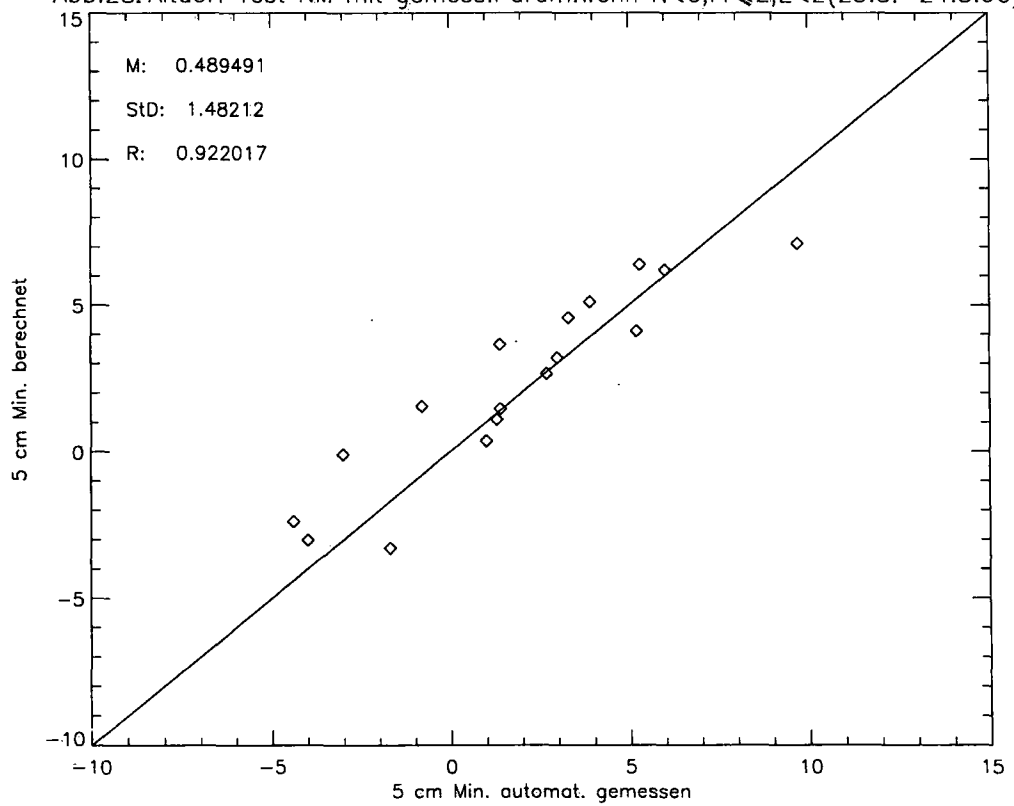
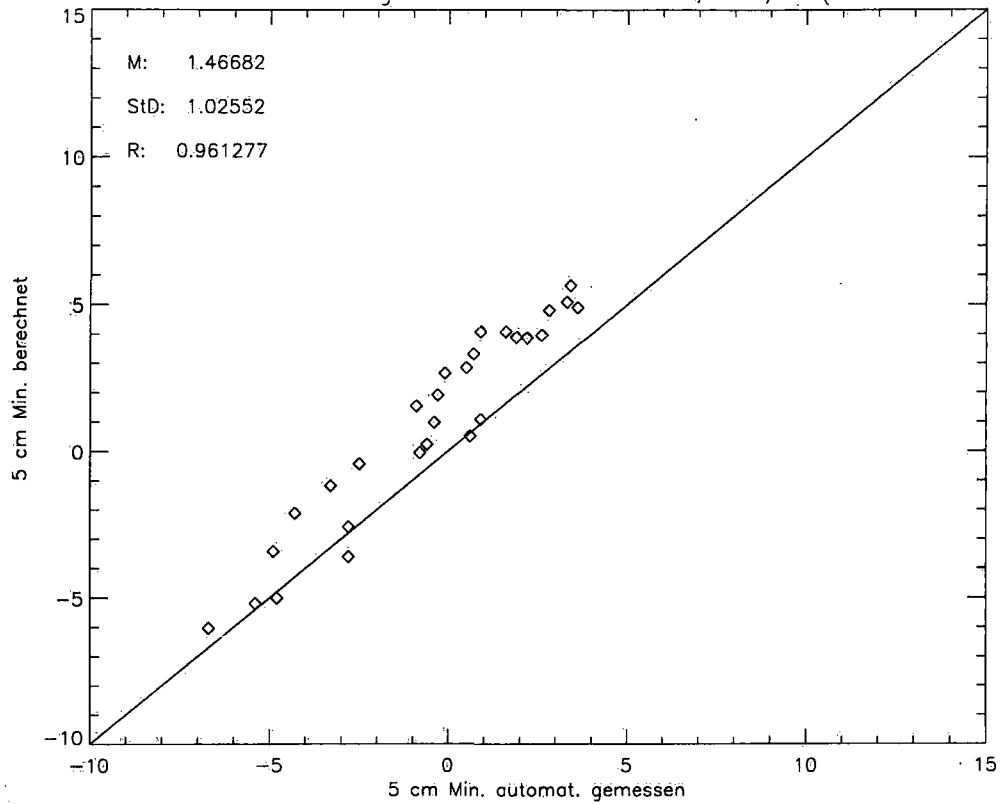


Abb.29 Sion Test NM mit gemess.Param. wenn $N < 6, FF < 2, E < 2$ (25.3.-24.5.96)



Die Korrelationen sind auch bei dieser unabhängigen Stichprobe ausgesprochen gut: $R=0.91$ bis 0.98 . Auch Standardabweichung und Mittel liegen im allgemeinen in der Toleranz. Einzig bei Sion sind die berechneten Werte im Mittel knapp 1.5 Grad höher als die gemessenen (positiver Bias). Wahrscheinlich haben die Beobachter in Sion nach einer Instruktion Ende Mai 1993 recht häufig grössere gesamte Wolkenmengen geschätzt als in den 8 Vergleichsjahren zuvor.

5.2 Vergleich der bisherigen und der neuen Methode mit prognostizierten Werten

Bei den abschliessenden Vergleichen der zwei Methoden werden für die Berechnungen der unabhängigen Stichproben nur noch prognostizierte Werte verwendet. Die Abbildungen 30 bis 47 zeigen die Ergebnisse. Zum einfacheren Vergleich sind die Resultate der zwei Methoden auf einer Seite pro Region dargestellt. **Verglichen werden die Resultate der bisherigen Methode im Frühling 1996 mit denjenigen der neuen Methode im Frühjahr 1997: indirekter Vergleich** (Parallelbetrieb war aus operationellen Gründen nicht möglich). Die neuen Korrelationen sind dabei tendenziell besser als bisher. Auch die Standardabweichungen liegen tendenziell tiefer und auch der Bias ist tendenziell kleiner. Die einzelnen Ausreisser sind auf Fehlprognosen (Schweizer Modell und/oder PrognostikerInnen) zurückzuführen.

Legende für die Abbildungen 30 bis 47:

BM: Bisherige Methode mit der Prognose der totalen Wolkenmenge um 06 UTC vom 25.3. bis 24.5. 1996

NM: Neue Methode mit der Prognose des 2 m Min., der totalen Wolkenmenge und der Windstärke um 03 UTC vom 10.3. bis 1.6. 1997

N: totale Wolkenmenge in Achteln

FF: Windstärke in m/s

R: Korrelation

M: Mittel der Differenz

StD: Standardabweichung

Anzahl der unabhängigen Stichproben: je 60 bis 80 Fälle.

In Genf und Interlaken (Abb. 46 und 47) ist kein Vergleich möglich, da es dort keine speziellen Froststationen gibt. Im Tessin ist die neue Methode noch nicht operationell.

Folgende konventionellen Froststationen werden dabei folgenden automatischen Stationen gegenübergestellt (die Standorte der alten und neuen Stationen können der Abb. 9 auf Seite 12 entnommen werden):

Konventionell	Automatisch
Payerne	Payerne
Benken	Fahy
Koppigen	Wynau
Flaach	Kloten
Sulgen	Vaduz
Landquart	Chur
Sursee	Altdorf
Vétroz	Sion

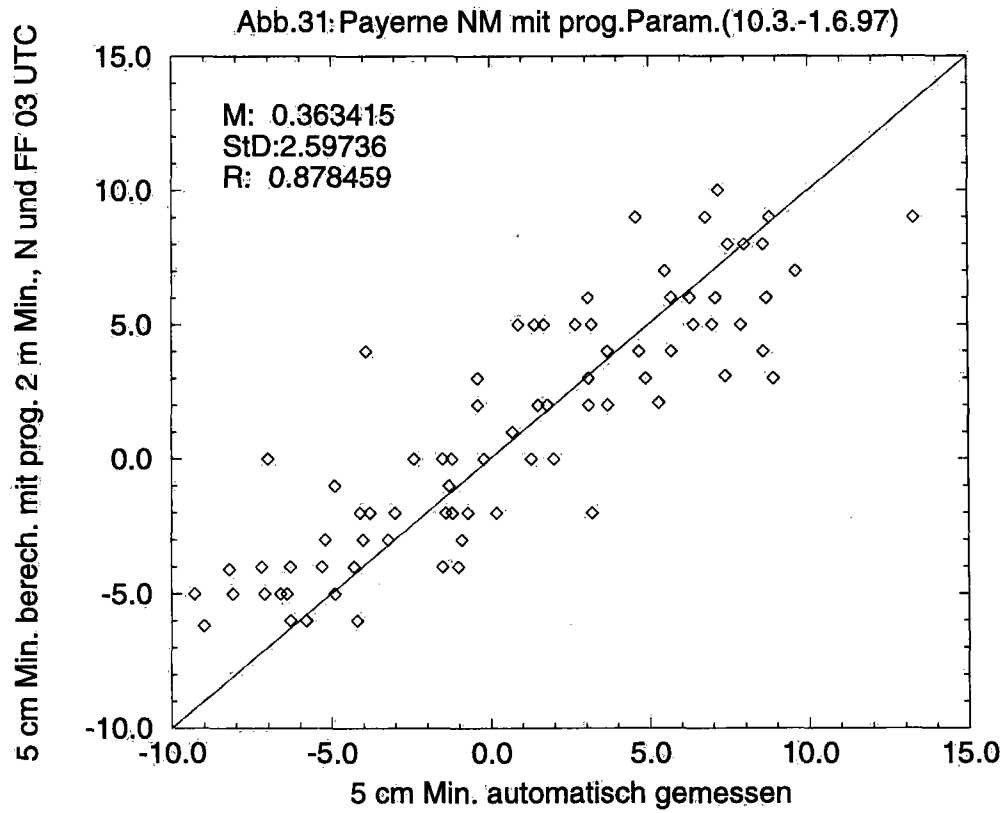
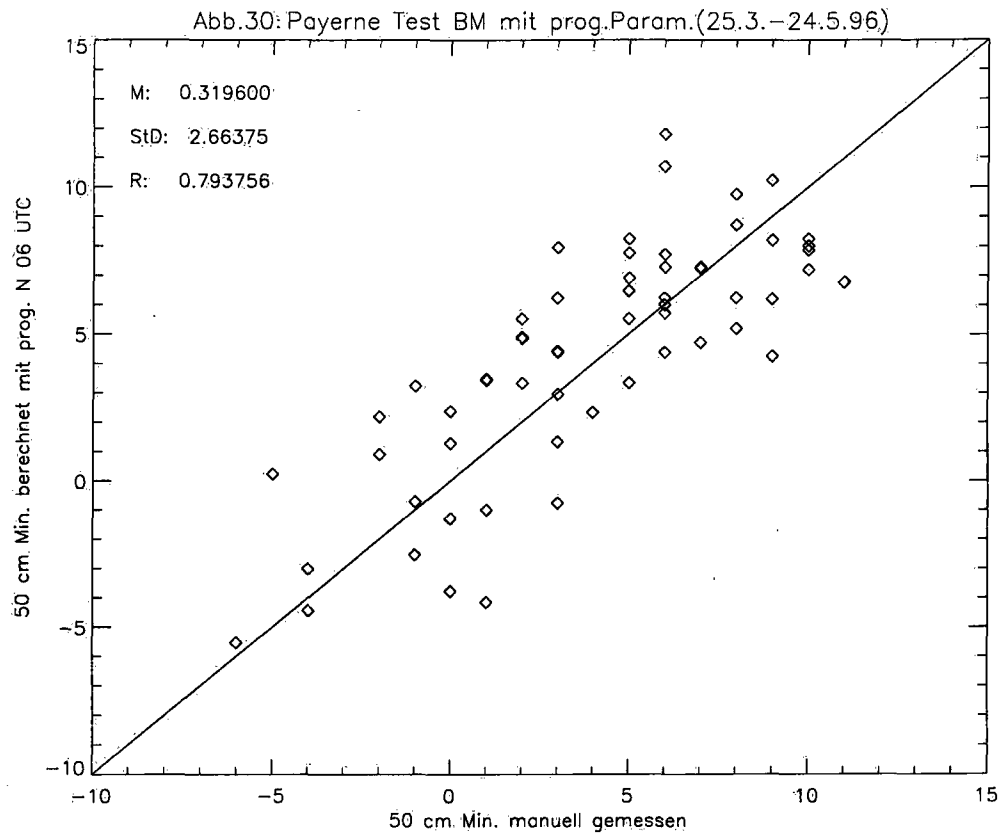


Abb.32: Benken Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

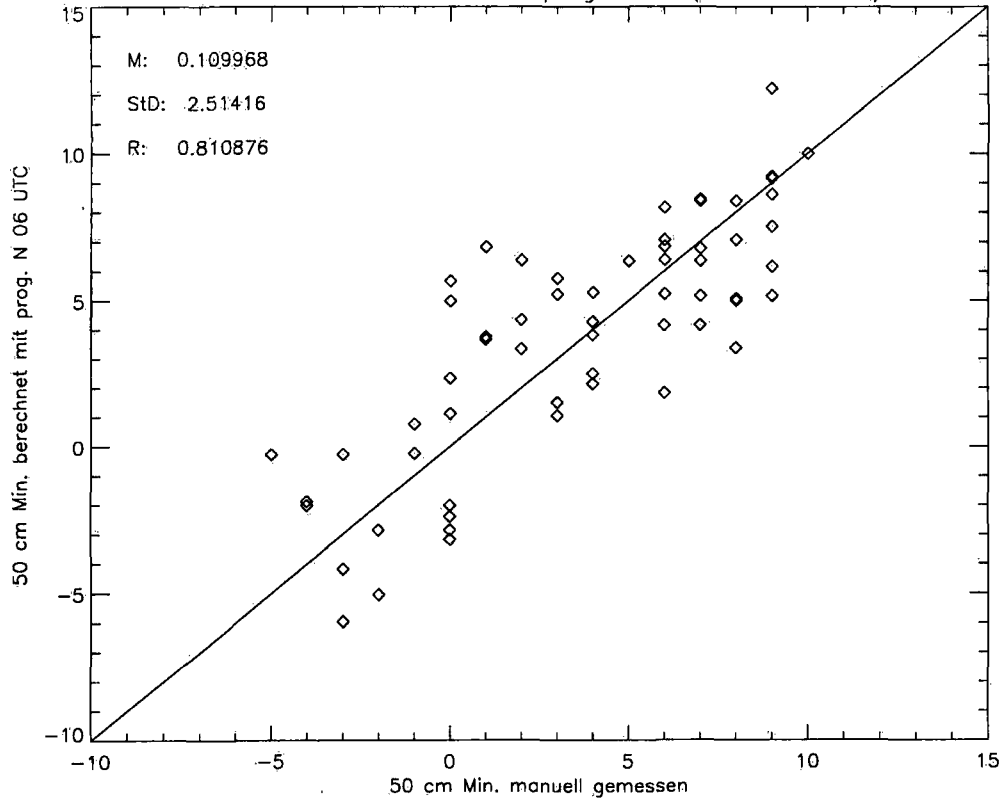


Abb.33:Fahy NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

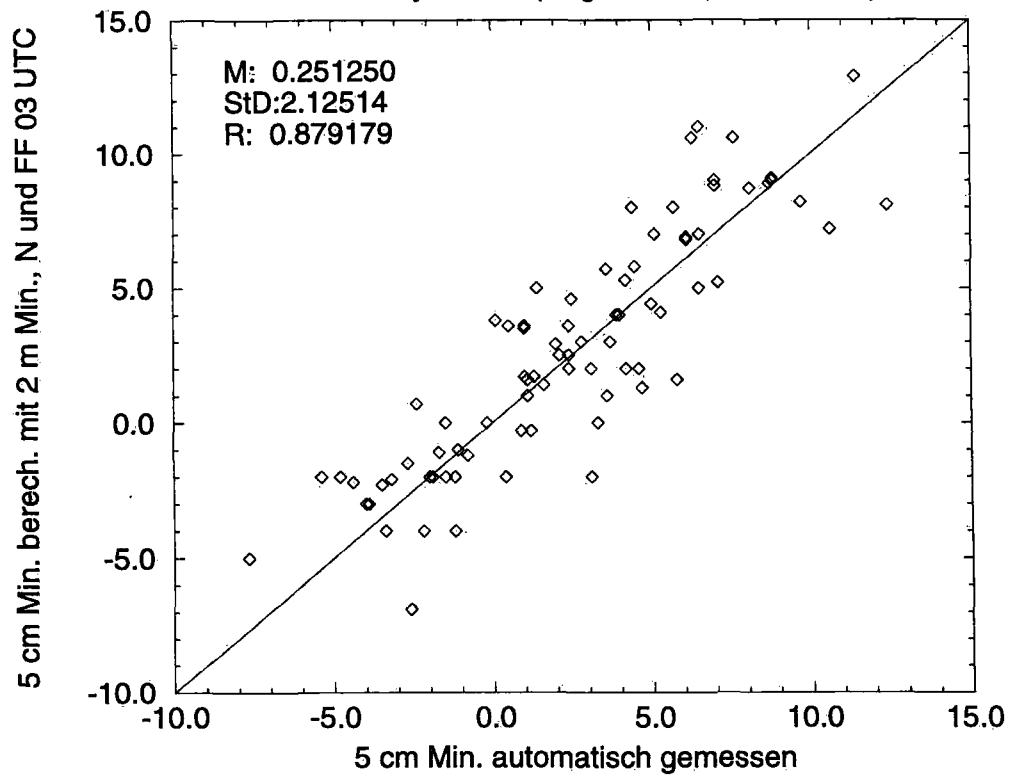


Abb.34: Koppigen Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

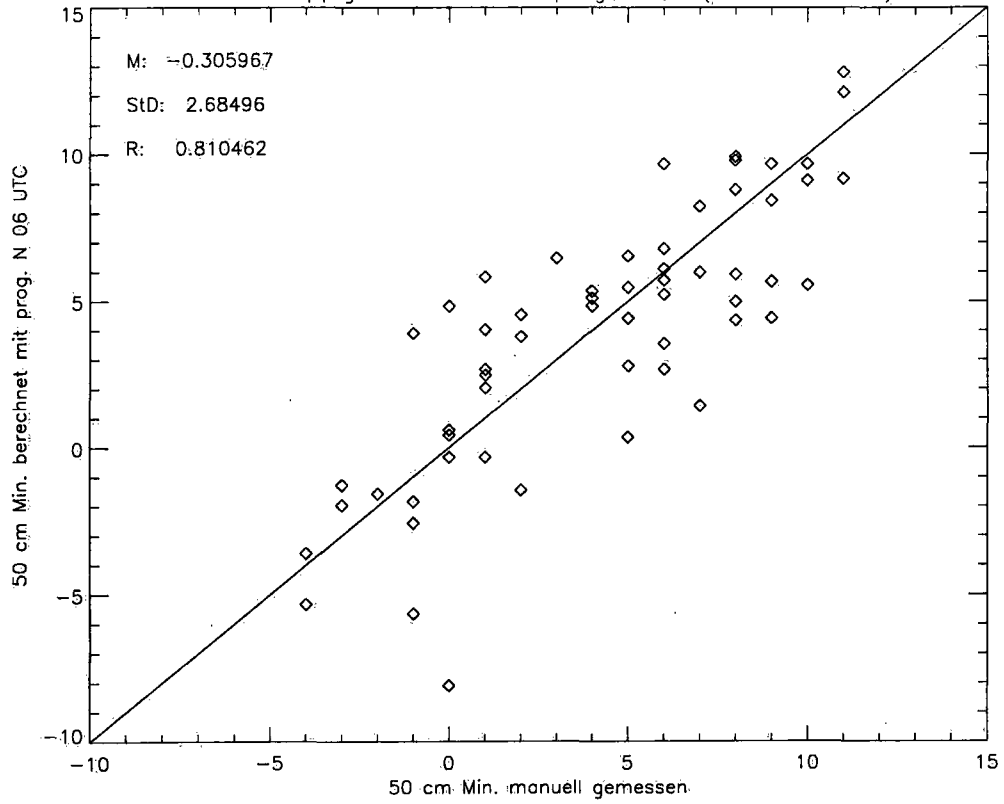


Abb.35:Wynau NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

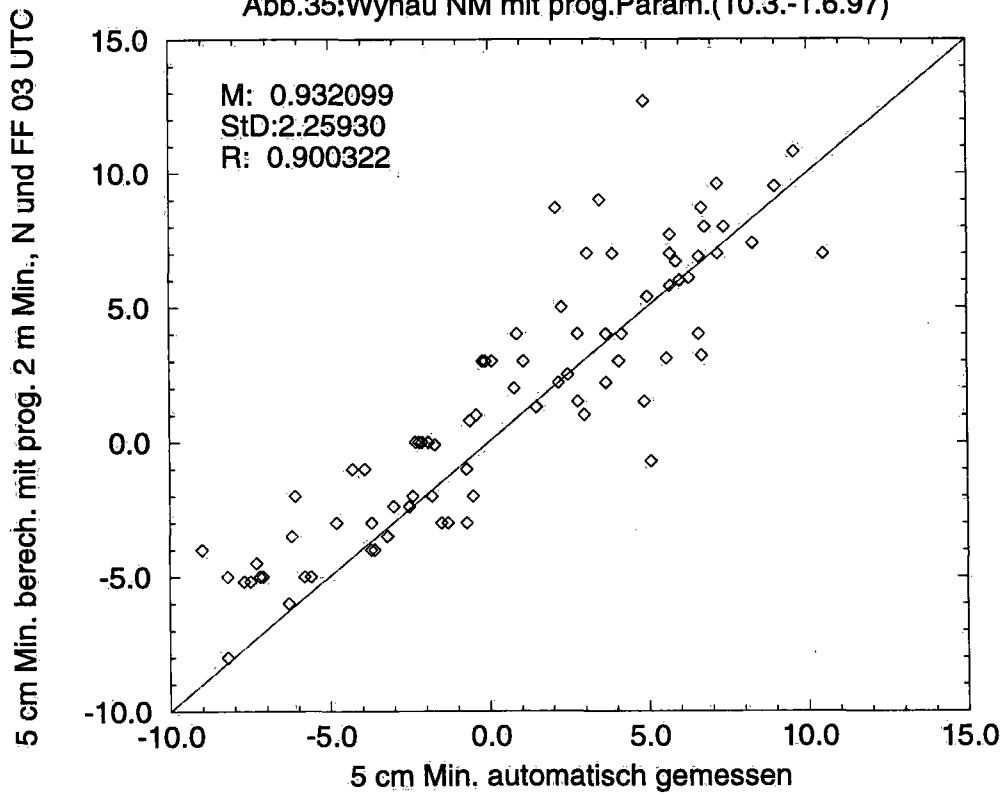


Abb.36: Flaach Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

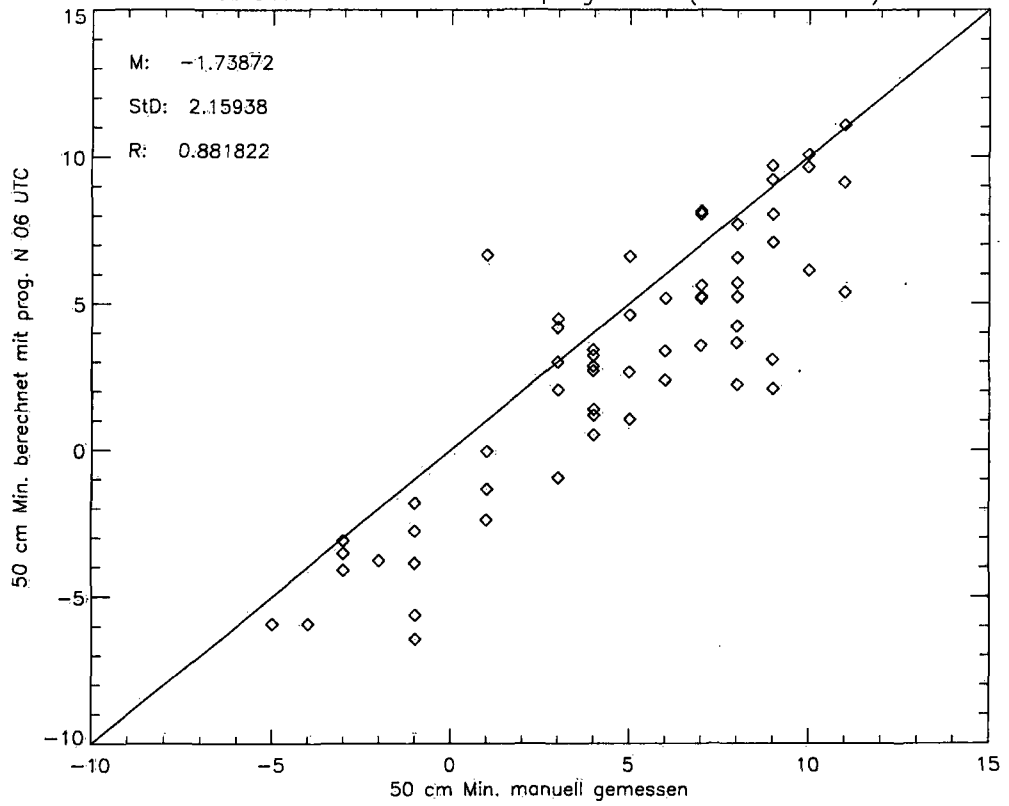


Abb.37: Klotten NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

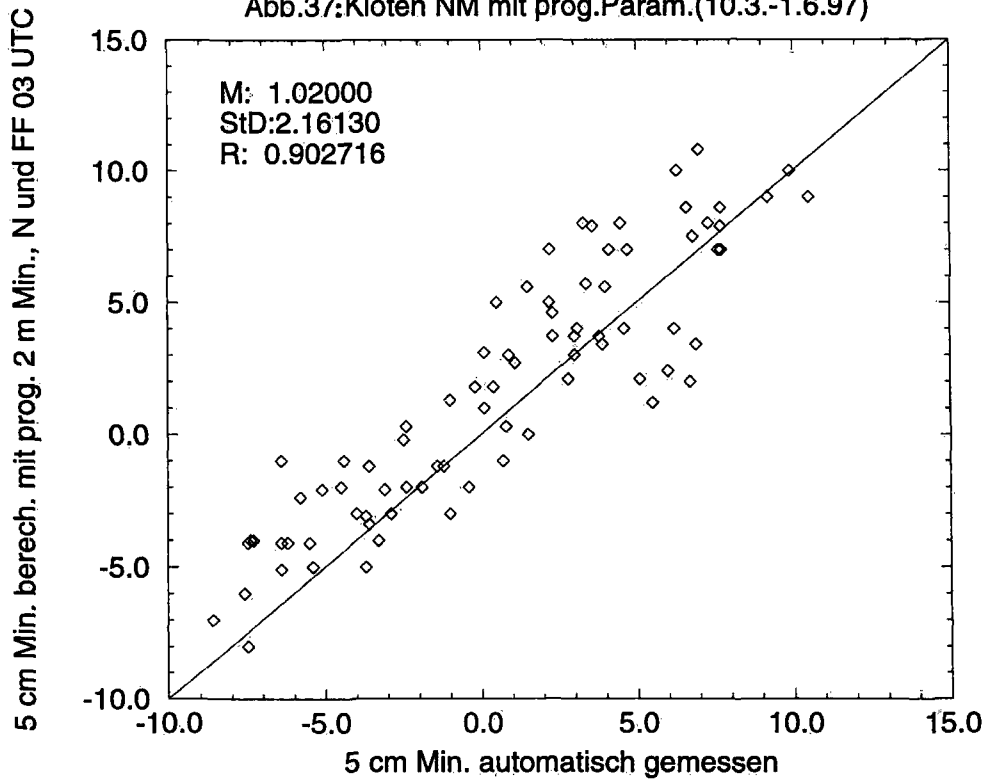


Abb.38: Sulgen Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

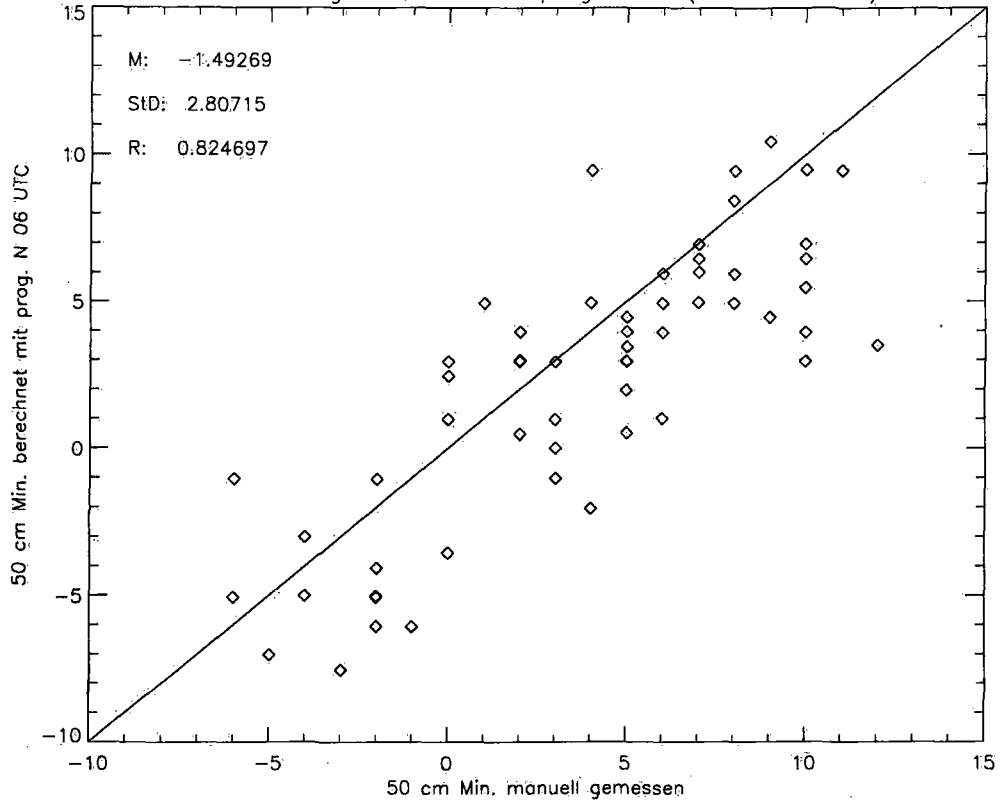


Abb.39: Vaduz NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

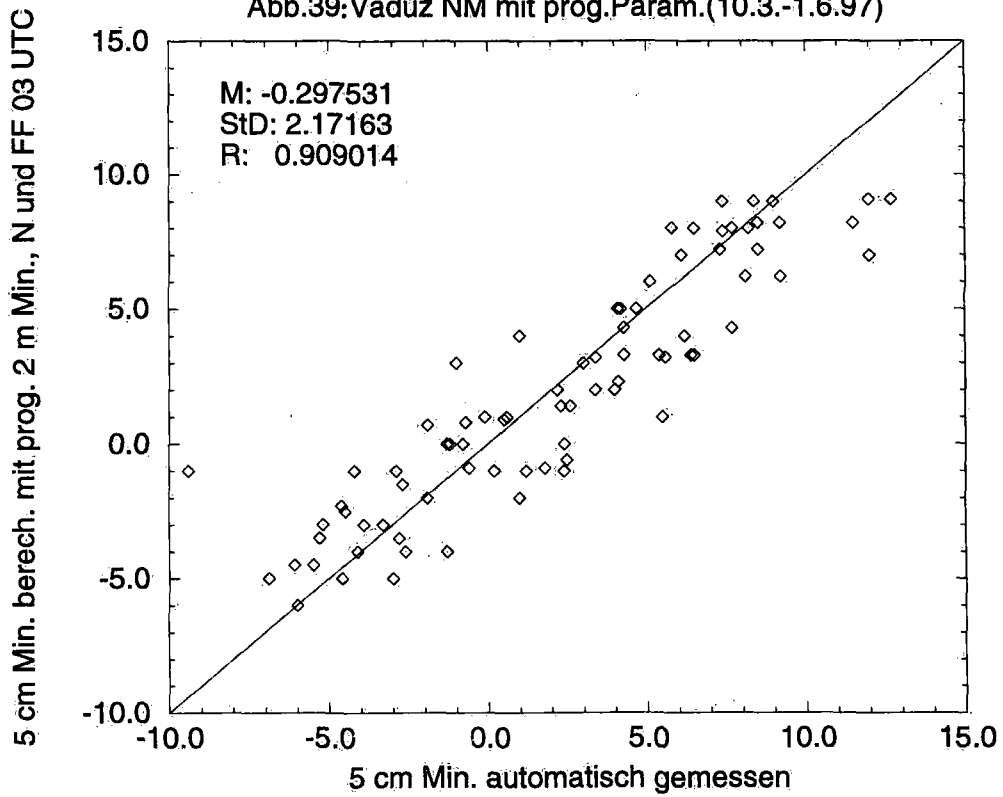


Abb.40: Landquart Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

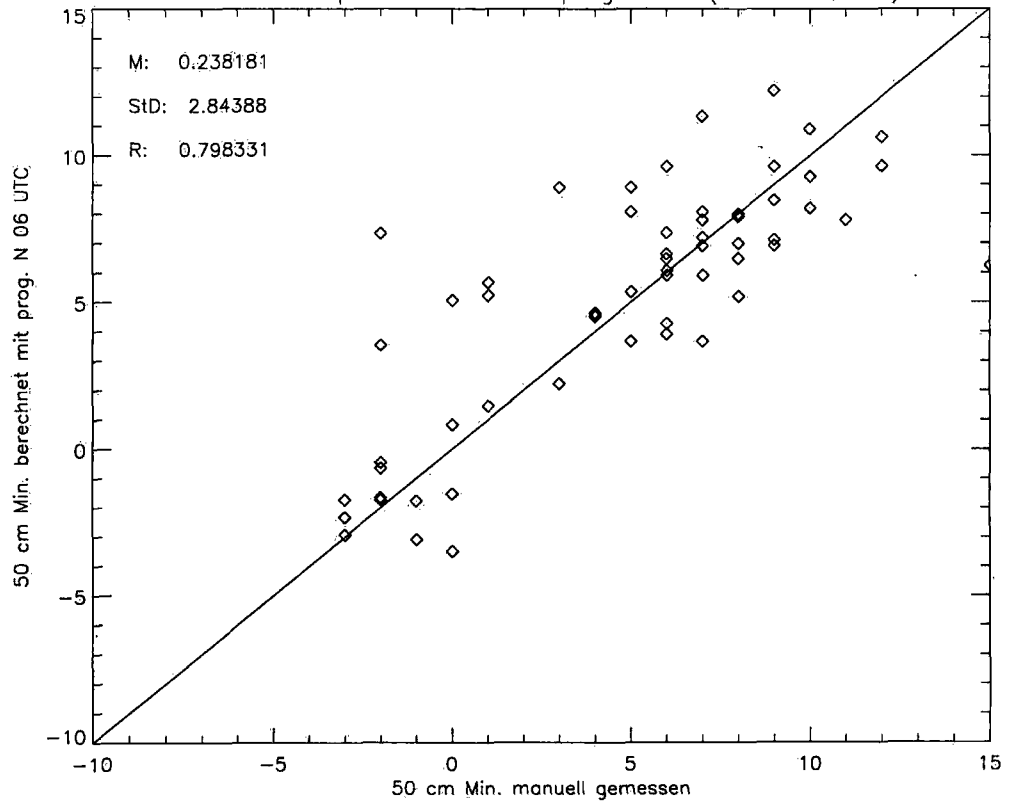


Abb.41: Chur NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

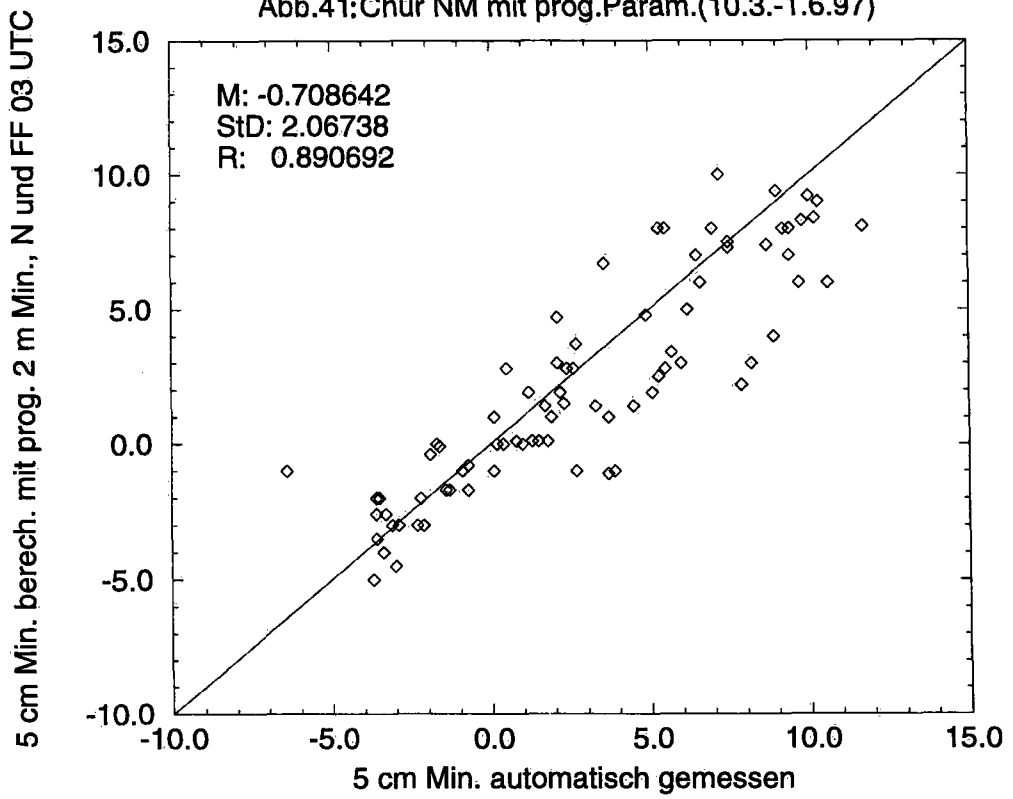


Abb.42: Sursee Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

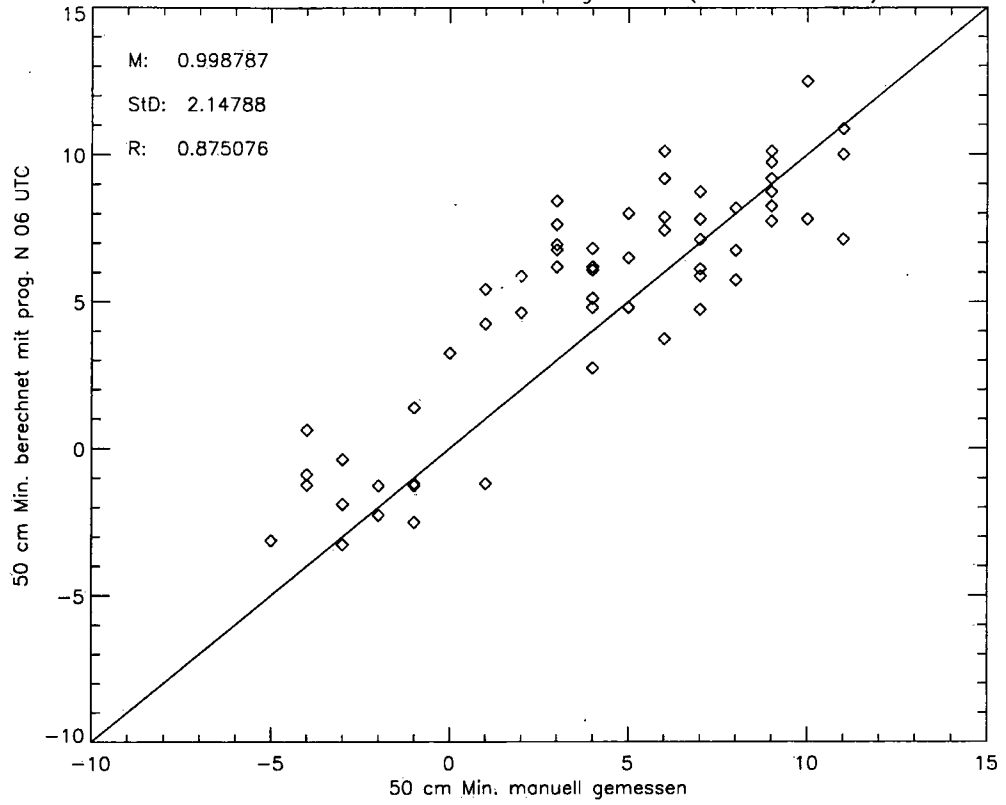


Abb.43: Altdorf NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)

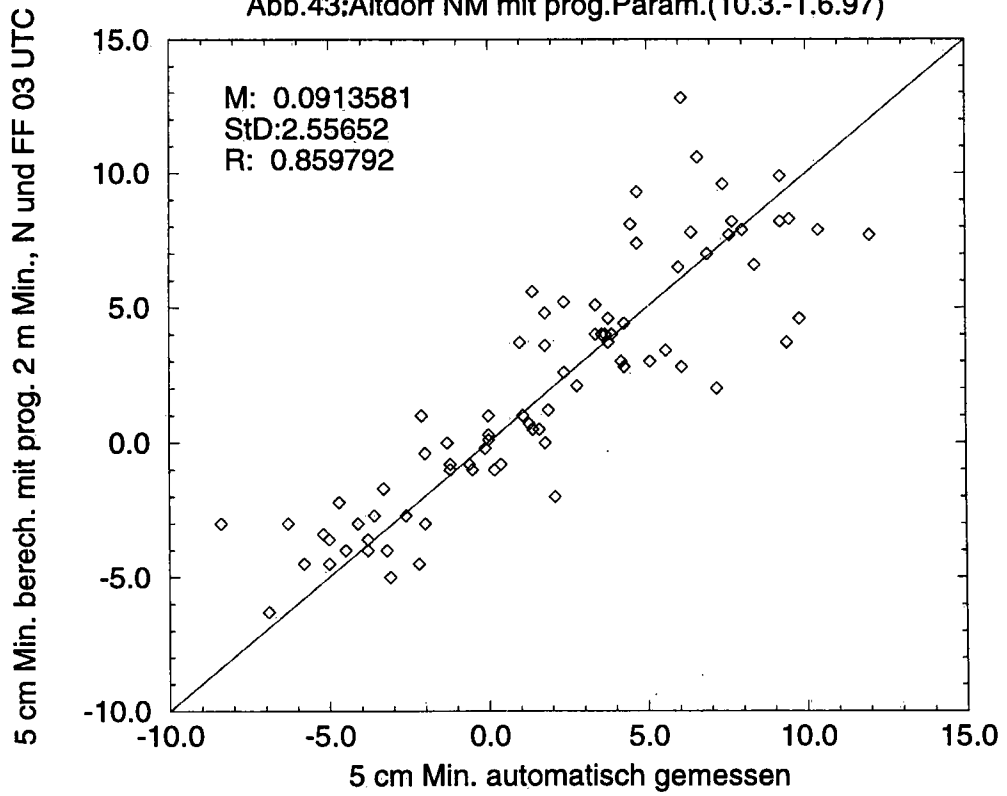


Abb.44: Vétroz Test BM mit prog.Param.(25.3.-24.5.96)

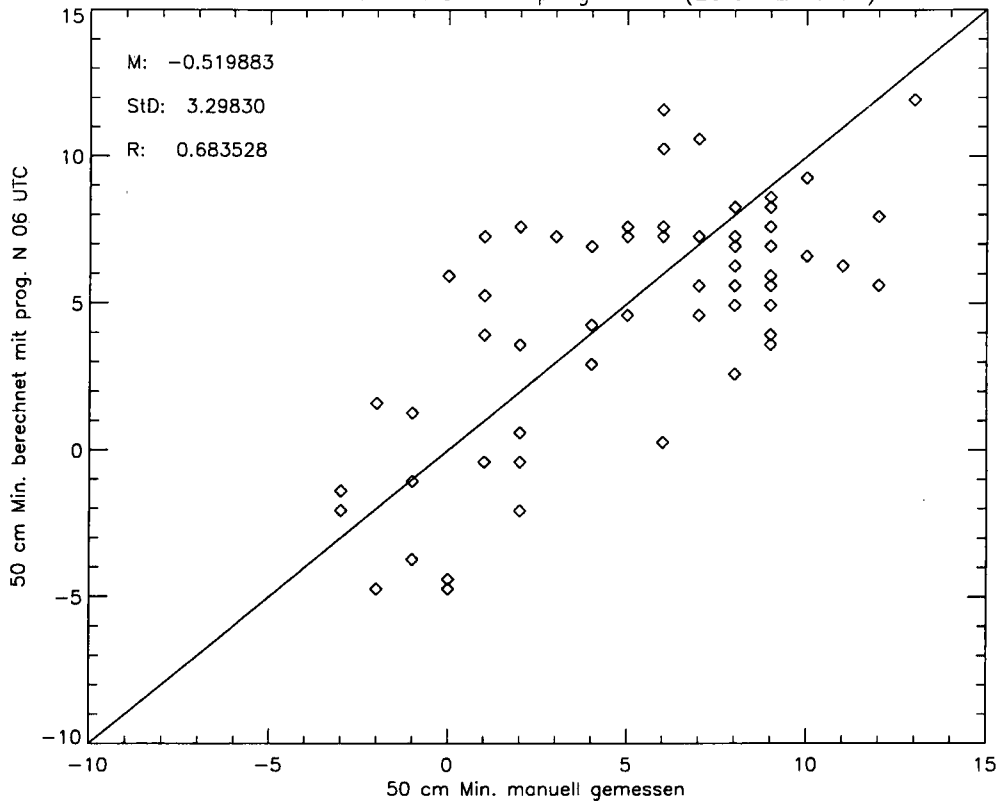
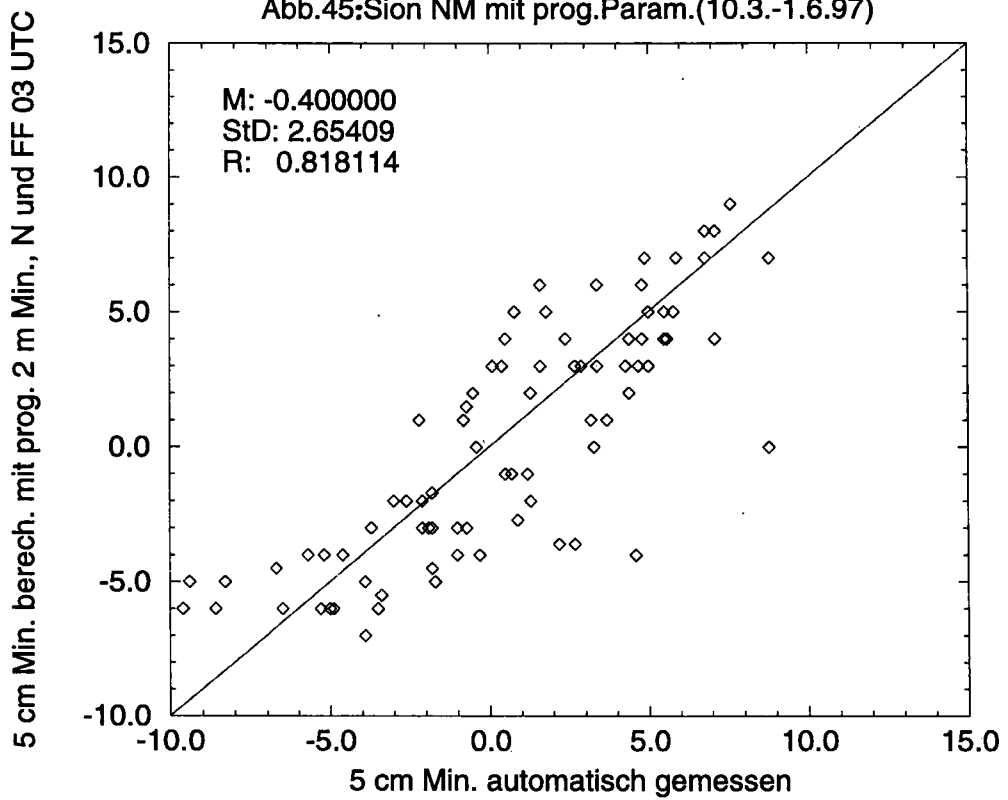
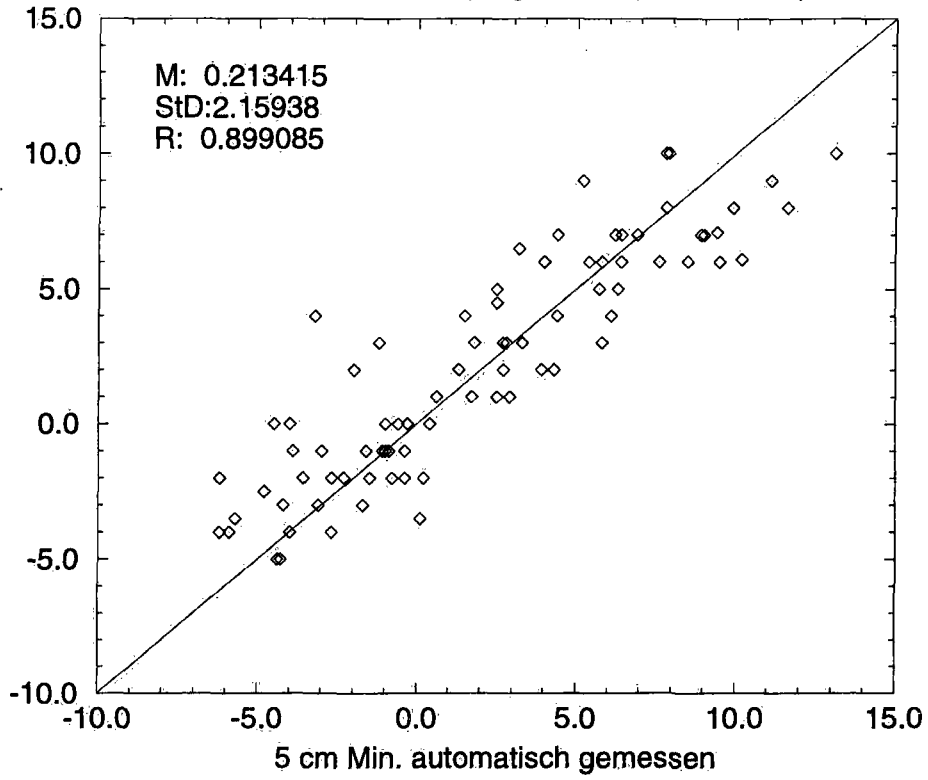


Abb.45: Sion NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)



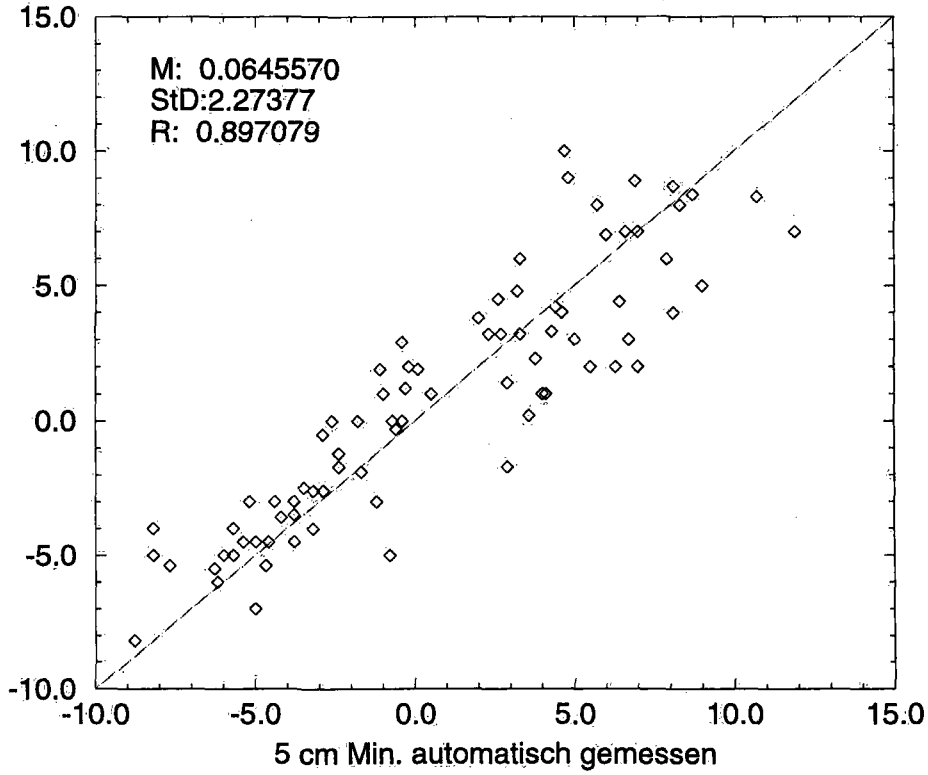
5 cm Min. berech. mit prog. 2 m Min., N und FF 03 UTC

Abb.46: Genf NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)



5 cm Min. berech. mit prog. 2 m Min., N und FF 03 UTC

Abb.47: Interlaken NM mit prog.Param.(10.3.-1.6.97)



5.3 Zusammenfassung

Bisherige Methode:

Positive Punkte:

Die Standorte der Froststationen wurden ursprünglich für spezielle Kulturen (Obst- und Rebbau) ausgewählt.

Der Einbezug der Psychrometertemperatur am Nachmittag schliesst den Feuchtigkeitsgehalt einer Luftmasse ein.

Negative Punkte:

Manuelle Stationen können nur zum Teil überwacht werden (Messfühler/Messfehler).

Das 50 cm Minimum liegt über den tiefsten Frosttemperaturen in Bodennähe (ursprünglich auf Rebkulturen ausgerichtet).

Die Korrelationen der Wolkensumme und der Differenz unterschiedlicher Temperaturen sind mässig.

Die Prognose der Wolkenmenge auf 1/8 genau ist sehr schwierig.

Das zusätzliche Netz ist recht aufwendig (vor allem teure Uebermittlungskosten) und erfordert von den PrognostikerInnen spezielle Kenntnisse.

Neue Methode:

Positive Punkte:

Automatische Stationen messen objektiver und werden laufend überwacht.

Das 5 cm Minimum liegt im Bereich der tiefsten Frosttemperaturen.

Die für meteorologische Verhältnisse ausgesprochen guten Korrelationen zwischen 2 m und 5 cm Min. bilden eine robuste Basis und bergen Entwicklungspotential für die Prognose.

Die Wolkenmenge wird nur noch nach zwei Klassen prognostiziert => einfachere Prognose und damit operationeller Vorteil.

Der Aufwand des Prognostikers ist nur noch klein, trotzdem sind die Resultate tendenziell besser (Korrelation, Standardabweichung und Bias) als bisher mit grösserem Aufwand und zusätzlichem Netz von Froststationen (ca. 20 METAGRAR-Stationen fallen weg).

Negative Punkte:

Die Standorte der neuen Froststationen sind nicht nur nach frostspezifischen Kriterien ausgewählt worden.

Da die Feuchttemperatur wegfällt, muss der Taupunkt bei der Prognose des 2 m Min. unbedingt beachtet werden.

5.4 Schlussfolgerungen

Trotz einzelner Vorteile der bisherigen Methode **überwiegen die Vorteile der neuen Methode eindeutig: die Resultate sind -nicht zuletzt wegen verbesserter Messdaten- tendenziell besser und der Aufwand bzw. die Kosten wesentlich kleiner (insbesondere die teuren Uebermittlungskosten fallen weg).**

6 Praktische Anwendung der neuen Methode im Prognosedienst

Neben anderen Prognosetools gibt es neu ein Frosttool (Abb.48), mit dem die Prognose der Tiefsttemperaturen in Bodennähe gemacht wird. Als verifizierte Basisdaten werden dabei die 2 m Minima und die Windstärke aus dem feinmaschigen numerischen Schweizer Modell (SM) benutzt. Auch der Input für die Wolkenmenge stammt aus dem SM. Die PrognostikerInnen können dann diese Werte noch modifizieren, was vor allem bei der Wolkenmenge (tiefe Wolken!) noch nötig ist, und dann quasi ihr "ok zur Berechnung" geben.

Abb.48: Frosttool: Eingabe und Resultate

The screenshot shows the Frosttool interface. On the left is the input window titled 'Fahy' with the following fields and options:

- Minimumtemperatur der kommenden Nacht:
- Wolken: 0 bis 5/8 6 bis 8/8
- Wind: bis und mit 4 Kn (2 m/s) mehr als 4 Kn (2 m/s)
-

At the top left of the input window, there is a warning: 'Tmin, Bewoelkung und Wind aus SM, bitte ueberpruefen! Temperaturen im Moment nicht Kalman gefiltert.'

On the right is the results window titled 'Bodentemperatur fah: -1.1' containing a table with 5 columns: Station, Min. Temp., Wolken, Wind, and Bodentemp. The table contains 7 rows of data for different stations.

Station	Min. Temp.	Wolken	Wind	Bodentemp.
fah	0	-	+	-1.1
wyn	1	-	-	-2.4
kdo	1	-	-	-2.1
int	0	-	-	-4.5
ait	1	-	-	-2.7
vad	2	+	-	0.1
chu	1	-	-	-1.7

Links ist das Eingabefenster mit dem SM-Input, rechts das Resultatfenster mit den berechneten 5 cm Minima ("Bodentemperatur").

Die Kunden erhalten als Produkt bei Frostgefahr quantitative Prognosen für ihre Region, und zwar 2 m und 5 cm Minima. Dabei können sowohl Angaben über mittlere und tiefste Werte, wie auch über deren Streubereich gemacht werden (Streuung und regionale Repräsentativität). Im ersten Betriebsjahr 1997 zeigte sich, dass einzelne Kunden (z.B. das Radio) zur besseren Verständlichkeit weiterhin auch qualitative Begriffe wie schwach, mässig, stark benötigen. Mit schwachen Frösten sind dabei Tiefsttemperaturen in Bodennähe von 0 bis -1, mit mässigen von -2 bis -4 und mit starken von -5 Grad und tiefer gemeint. Der Kunde kann dann neu etwas selbständiger als bisher entscheiden, welche Frostschutzmassnahmen er je nach Vegetationsstand seiner Kulturen ergreifen will.

7 Ausblick

Mit der weiteren Verbesserung des SM (namentlich bei den 2 m Temperaturen) kann auch eine weitere Verbesserung der Frostprognosen erwartet werden. Speziell sind die PrognostikerInnen auch auf die Fälle aufmerksam zu machen, bei denen die im SM mit Kalman gefilterten 2 m Min. schlecht sind (markante Kaltlufteinbrüche). Zudem kann die neue Frostprognose-Methode, wenn nötig, jederzeit modifiziert werden (Mo-

onitoring und gegebenenfalls Anpassung der Regressionen). Ueberdies ist gelegentlich auch ein Vergleich zwischen Frostprognosen mit und ohne Eingriff der PrognostikerInnen ins Auge zu fassen (wo/man and/or machine).

8 Dank

Meinen Kollegen Frank Krausser und besonders Marcel Haefliger danke ich für ihre Programmierarbeit, den Mitgliedern der Arbeitsgruppe für ihre Anregungen und Korrekturen. Den KollegInnen in Genf für ihr verständnisvolles Interesse an der neuen Methode.

9 Literatur

9.1 Im Arbeitsbericht zitierte Literatur

- Avissar R,
Mahrer Y: 1988. Mapping frost-sensitive areas with a three-dimensional local-scale numerical model, part 1+2. J Appl Meteorol 27: 400-426.
- Blackadar, AK: 1976. Modelling the nocturnal boundary layer. In: Proc 3rd Symp Atmospheric turbulence, diffusion and air quality, Raleigh NC, pp 46-70.
- Brunt D.: 1952. Physical and dynamical meteorology. Univ. Press, Cambridge.
- Cellier, Pierre: 1982. Contribution à prévision des températures minimales nocturnes en conditions de gelées de printemps. Dissertation, INA, Paris-Grignon.
- Floor, C.: 1989. Estimating grass minimum temperature and probability of ground frost at Eelde (Netherlands). In: Meteorological magazine 1989, 1409. S.261-265.
- Heinemann PH,
Martsolf JD: 1988. Prediction of cooling of a nocturnal environment using two atmospheric models. J Appl Meteorol 27: 473-481.
- Katz, Murphy,
Winkeler: 1982. Assessing the value of frost forecasts to orchardists: a dynamic decision making approach. J. App. Meteorol. 21: 518-531.
- Lawrence, E.N.: 1960. Forecasting grass minimum and soil temperatures under clear skies and light winds. Meteorolog Mag, 89, 33-42.
- Primault, B.: 1971. Du risque de gel et de sa prévision. Veröffentlichungen der Schweizerischen Meteorolog. Anstalt.
- Steele, L.P.,
Stroud, P.A.J.,
Virgo, S.E.: 1969. An empirical approach to forecasting grass minimum temperatures and the probability of grass minima below 0°C in Eastern England. Meteorolog Mag, 98, 340-348.
- Stewart, Katz,
Murphy: 1984. Value of weather information: a descriptive study of the fruit-frost problem. Bull. Am. Meteorol. Soc. 65: 126-137.
- Sutherland RA: 1980. A short-range objective nocturnal temperature forecasting model. J Appl Meteorol 19: 247-255.
- Zerche M.,
Rosteck: 1961. Ueber Messungen der nächtlichen Tiefsttemperatur in verschiedenen Höhen der bodennahen Luftschicht. Zeitschrift für Meteorologie. Band 15. Heft 10-12. SS 349-350.

9.2 Weiterführende Literatur

- Albisser Peter: 1983. Abschätzung der nächtlichen Gesamtbewölkung mit Hilfe von ASTA-Daten. Arbeitsbericht 116 der SMA-MeteoSchweiz.
- Brotak, Edward A.: 1988. Predicting severe agricultural freezes. In: Nat. Weather Dig. Temple Hills, MD. 13. 1988, 1. S.15-19.
- Cellier, Pierre: 1993. An operational model for predicting minimum temperatures near the soil surface under clear sky conditions. In: Journal of applied meteorology. 32 (1993), 5, S.871-883.
- Cellier, Pierre: 1984. Une méthode simple de prévision des températures de l'air et de la surface du sol en conditions de gelées radiatives. Aus: Agronomie 4. 1984, 8. S.741-747.
- Fekete, Laszlo: 1979. A comparative analysis of some methods of forecasting local frosts. Idoejaras 84 (1980) Nr.4, S.218-232.
- Gandía, S.: 1984. Application of a radiative cooling model to daily minimum temperature prediction / S. Gandia; J. Melia and D. Segarra. In: Journal of climat. 5.1985, 6. S.681-686.
- Goulter, Stephen; Vere-Jones, David: 1988. Operational frost predictions with a simple probability model. In: Weather and climate. 8. 1988, 2. S.58-68.
- Sakai, Akira; Larcher, Walter: 1987. Frost survival of plants: responses and adaption to freezing stress. Springer Verlag Berlin 1987.
- Shanahan, B.W.: 1979. Minimum temperature. In: Proc. of the forecasters con., July 1978. Melbourne: Bur. of meteorol. March 1979. S.41-50.

Name des Autors:
Heinz Maurer
SMA-MeteoSchweiz
Postfach
8044 Zürich

