

DIPLOMARBEIT

zur Erlangung des akademischen Grades
Diplom Informatiker (FH)

Entwicklung eines Systems zur Darstellung der Wettersituation an einem Flughafen

vorgelegt von Sascha Lasner
Matrikelnummer 20018519
im April 2005

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. habil. Frank Klawonn
Zweitprüfer: Dipl. Inf. Gunnar Spies

Fachhochschule
Braunschweig/Wolfenbüttel
– University of applied Sciences –

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch nicht veröffentlicht.

Salzgitter, April 2005

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
2	Warum eine Wetterdarstellung?	6
2.1	Der Einfluss des Wetters	6
2.2	Auswirkungen auf die Sicherheit	10
2.3	Auswirkungen auf die Pünktlichkeit	11
2.4	Finanzielle Sicht	12
2.5	Der Nutzen einer Wetterdarstellung	12
3	Übersicht aktueller Wetterdisplays	14
3.1	ASDUV	14
3.2	MIDAS IV	17
3.3	Meteo-Online	18
3.4	BLIDS	19
3.5	MIAWS	20
3.6	WARP und ODS-Toolbox	22
3.7	DLR	24
3.8	Selbstbriefing-Programme	26
3.9	lcdmetar	27
4	Anforderungen an ein Wetterdisplay	29
4.1	Über die Untersuchung	29
4.2	Auswertung der Umfrage	31

<i>INHALTSVERZEICHNIS</i>	2
5 Vorstellung der Software des Autors	37
5.1 Beschreibung der Software	38
5.1.1 Der T-Mon	38
5.1.2 Die Wetteranzeige (Subpages)	39
5.1.3 Die Wetteranzeige (Mainpage)	39
5.2 Softwaretechnik in der Wetteranzeige	41
5.2.1 Graphische Anzeige	42
5.2.2 Tabellen	43
5.2.3 Verarbeitung von Wetterdaten	43
6 Schlusswort	45
A Wettermeldungen	47
A.1 METAR	48
A.2 TAF	49
A.3 Andere Meldungstypen	50
B Fragebogen	52
Abkürzungsverzeichnis	59
Literaturverzeichnis	60

Abbildungsverzeichnis

2.1	Runways des Frankfurter Flughafens	7
3.1	Landebahnübersicht (Flugwettersystem ASDUV), DWD 2004	15
3.2	Diagramme (Flugwettersystem ASDUV), DWD 2004	16
3.3	Bildschirmfoto MIDAS IV, Vaisala 2005	17
3.4	Bildschirmfoto Meteo-Online, Thies Clima 2005	18
3.5	Bildschirmfoto BLIDS_live, Siemens 2002	20
3.6	Bildschirmfoto MIAWS, MIT 2001	21
3.7	Bildschirmfoto WARP, FAA 2002	23
3.8	Diagramme der Messwerte, DLR 2005	25
3.9	Bildschirmfoto pc_met, DWD 2005	27
3.10	lcdmetar im Einsatz, Schwarzvogel 2005	28
5.1	Schematischer Aufbau des T-Mon	38
5.2	Graphische Wetterdarstellung im T-Mon	40
5.3	Erklärung des Stationsmodells	41
5.4	UML-Diagramm der Klassen des Wetterdisplays	43
5.5	UML-Diagramm mit Verebnungsstruktur der Tabellenklassen	44

Kapitel 1

Einleitung

Der Flugverkehr ist seit vielen Jahren eine bedeutende Form des Gütertransports und des Reiseverkehrs. Die militärische als auch zivile Nutzung von Flugzeugen bietet einige Vorteile gegenüber den Reise- und Transportmöglichkeiten am Boden, bzw. zu Wasser. Dazu zählen heute unter anderem die Reisegeschwindigkeit, die Reichweite und Sicherheit.

Durch zahlreiche Forschungen, Erfindungen, Entwicklungen und Weiterentwicklungen wurde die Sicherheit des Flugverkehrs immer weiter gesteigert und auf ein hohes Niveau gebracht. Viele technische Geräte in einem Flugzeug und auch am Boden, unterstützen Piloten und das Bodenpersonal bei ihrer Arbeit. So ist es heute bereits möglich, ein Flugzeug ohne Eingreifen des Piloten sicher auf einem Flughafen zu landen. Wie die meisten Arten von technischer Unterstützung, setzt auch diese die entsprechenden Geräte im Flugzeug bzw. am Flughafen voraus.

Trotz des Fortschritts und vieler Entwicklungen gibt es einen Einfluss auf den Flugverkehr, der sich nicht umgehen und erst recht nicht beeinflussen lässt: das Wetter. Wie in Kapitel 2 gezeigt wird, hat das Wetter einen sehr großen Einfluss auf den Flugverkehr, einen weitaus größeren als auf den Straßenverkehr am Boden. Das Wetter stellt eine ständige, potentielle Gefährdung für den Verkehr in der Luft dar. Mit steigender Anzahl von Flugbewegungen an einem Flughafen nimmt das Wetter auch immer mehr Einfluss auf den Betrieb eines Flughafens

und kann dort Verspätungen und Sicherheitsrisiken verursachen. Obwohl sich die Auswirkungen des Wetters nicht umgehen lassen, kann bei richtiger Einschätzung des Wetters und der Wetterentwicklung die Sicherheit erhalten und die Abnahme der Pünktlichkeit verringert werden.

In Europa vertrat man bis vor einigen Jahren noch die Meinung, dass es wichtigeres gäbe als den Einfluss des Wetters, weshalb es auf diesem Gebiet nicht viele Veränderungen gab [4]. Erst seit kurzem hat sich ein gesteigertes Interesse am Wettereinfluss entwickelt, denn die Auswirkungen des Wetters wurden spürbarer, als manche Flughäfen ihren Kapazitätsgrenzen näher kamen.

Um auf das Wetter angemessen reagieren zu können ist es notwendig die Wettersituation zu kennen. Piloten sind dazu verpflichtet sich vor und während jeden Fluges ausführlich über das Wetter auf ihrer Route zu informieren. Die Lotsen an einem Flughafen benötigen für ihre Arbeit ebenfalls eine genaue Kenntnis der Wettersituation innerhalb ihres Zuständigkeitsbereiches. Dieses Wissen ist nötig, um Flugzeuge im Anflug richtig zu führen und die Benutzung von Start- und Landebahnen möglichst sicher und effektiv zu planen. Um die Erfassung der Wettersituation zu ermöglichen werden, je nach Kategorie des Flughafens, Messgeräte installiert und das Wetter am Flughafen gemessen. Die gemessenen Daten werden den Lotsen zur Verfügung gestellt und zusätzlich über den Deutschen Wetterdienst, kurz DWD, verbreitet. Um mit den gemessenen Daten arbeiten zu können, müssen diese in geeigneter Form dargestellt werden.

Mit der Darstellung der gemessenen Wetterdaten befasst sich diese Diplomarbeit. In Kapitel 3 werden einige aktuelle und markante Softwarelösungen zur Darstellung der Wettersituation an einem Flughafen vorgestellt. Das Ziel dieser Diplomarbeit ist es, zu untersuchen ob die Anforderungen der Nutzer von den angebotenen Lösungen abgedeckt werden und welche Verbesserungen in zukünftigen Entwicklungen berücksichtigt werden sollten. Dazu wird in Kapitel 4 eine Untersuchung ausgewertet, die im Rahmen dieser Arbeit stattgefunden hat und die Ansprüche von Mitarbeitern verschiedener Flugplätze ermittelt. In Kapitel 5 wird die vom Autor entwickelte Software zur Darstellung der Wettersituation am Flughafen in Frankfurt vorgestellt.

Kapitel 2

Warum eine Wetterdarstellung?

Die Tatsache, dass der Flugverkehr vom Wetter beeinflusst wird, ist leicht nachvollziehbar. So erschwert sich die Arbeit eines Piloten, wenn die Sicht schlechter wird und beispielsweise durch Nebel die Landebahn schlecht oder gar nicht zu sehen ist. Der Umfang in dem das Wetter den Flugverkehr beeinflussen kann ist aber nicht ganz so leicht vorzustellen. In diesem Kapitel wird, mit Beispielen des Flughafens in Frankfurt, ein Eindruck davon vermittelt, welchen Einfluss das Wetter tatsächlich hat und es wird aufgezeigt, wie wichtig es ist, dass Wettererscheinungen früh erkannt werden und dem Personal der Flugsicherung zur Kenntnis gebracht werden.

2.1 Der Einfluss des Wetters

Das Start- und Landebahnensystem für den Flughafen in Frankfurt besteht aus drei Bahnen, sogenannten Runways. Wie in der Darstellung der Runways in Abbildung 2.1 zu erkennen ist, werden die Runways nach ihrer Betriebsrichtung benannt. Das ist die Richtung, in der Flugzeuge auf der Runway starten und landen. So wird die einzelne Runway als Runway 18 bezeichnet, denn sie wird ausschließlich in Richtung Süden betrieben und das entspricht einem Winkel von 180 Grad auf einer Windrose. Die Null wird in der Bezeichnung weggelassen. Das parallele Bahnensystem wird, je nach Betriebsrichtung, entweder mit 25 bezeich-

net oder mit 07. Das entspricht einem Winkel von 250 Grad, bzw. von 70 Grad. Um nun auch die linke und rechte Bahn von einander zu unterscheiden werden sie 25L und 25R oder 07L und 07R genannt [6].

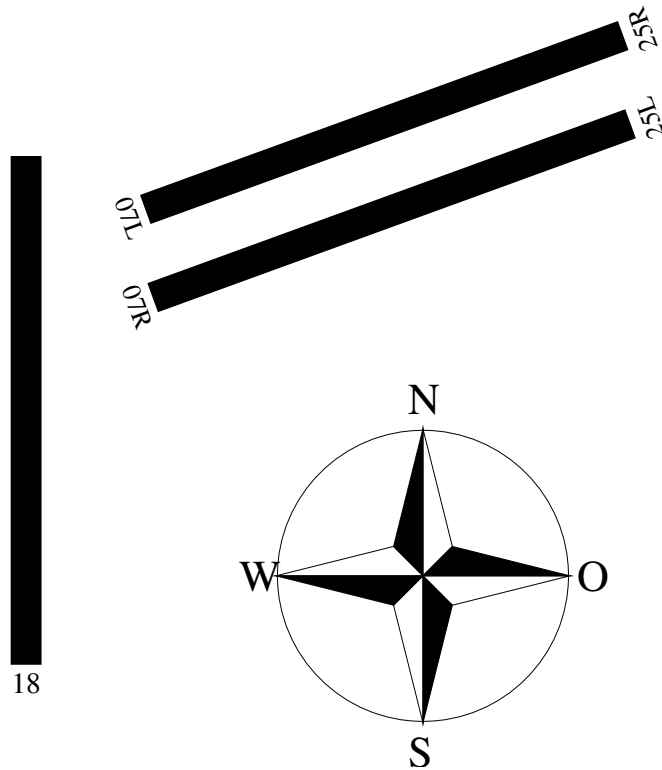


Abbildung 2.1: Runways des Frankfurter Flughafens

Die Ausrichtung der Runways ist von besonderer Bedeutung, denn die Windrichtung bestimmt in welcher Richtung eine Runway betrieben wird. Flugzeuge starten und landen generell gegen den Wind. Dabei entspricht ein Gegenwind von 5 bis 10 Knoten einer idealen Bedingung für Starts und Landungen. In dem Gebiet in dem der Frankfurter Flughafen gebaut wurde weht der Wind insgesamt rund 9 Monate des Jahres aus süd-westlicher Richtung. Daher wurden die parallelen Runways so angelegt, dass Flugzeuge in süd-westlicher Richtung starten und landen können.

Im normalen Betrieb werden die Runways 25L und 25R überwiegend als Landebahnen betrieben und die Runway 18 wird ausschließlich als Startbahn genutzt.

Es starten mit bis zu 30 Flugzeuge in einer Stunde etwa drei Viertel der Flieger von dieser Runway. Wenn ein Flugzeug startet, bilden sich sogenannte Wirbelschleppen. Wirbelschleppen sind einander gegenläufige Luftverwirbelungen, die sich an den Enden der Tragflächen bilden und den Flugverkehr hinter dem Flugzeug gefährden. Die Wirbelschleppen der Flugzeuge die von den Runways 25L und 25R starten, können den Betrieb auf der Runway 18 empfindlich stören.

Dreht sich der Wind mit der Zeit und sorgt in der Betriebsrichtung 25 dafür, dass die Runway 18 einen zu starken Seitenwind¹ hat, so wird der Betrieb auf dieser Runway eingestellt und der gesamte Verkehr auf das parallele Bahnsystem verlegt. Dementsprechend werden die Runways 25L und 25R sowohl für Starts als auch für Landungen benutzt. Die im Luftraum über Frankfurt befindlichen Flugzeuge müssen sich dann auf die neue Situation einstellen und durch den entstandenen Engpass länger in der Luft auf eine Landeerlaubnis warten. Zusätzlich verzögern sich die Starts der am Boden wartenden Flugzeuge erheblich. Ähnliche Verzögerungen ergeben sich, wenn sich die Windrichtung dauerhaft so weit ändert, dass die Flugzeuge in entgegengesetzter Richtung starten und landen müssen. Der neuen Betriebsrichtung entsprechend werden die parallelen Runways dann als 07L und 07R bezeichnet.

Dieses ausführliche Beispiel hat gezeigt, dass bereits bei der Planung eines Flughafens das Wetter, speziell der Wind, eine größere Rolle spielt, und den laufenden Betrieb beeinflusst. Das ist aber nicht der einzige Einfluss des Windes. Dazu kommen z.B. noch gefährliche Seitenwinde, die plötzlich auftreten können. Diese Seitenwinde muss ein im Landeanflug befindliches Flugzeug kurzfristig und genau kompensieren, um nicht durch den Wind zur Seite gedrückt zu werden und die Landebahn zu verfehlen. Zusätzlich können die Seitenwinde eine Wirbelschleppenverlagerung verursachen. Das bedeutet, dass Wirbelschleppen nicht nur in erwarteter Weise hinter dem erzeugenden Flugzeug auftreten, sondern auch an unvorhergesehene Orte übertragen werden. Hierdurch sind besonders die naheliegenden Runways, z.B. das parallele Bahnsystem in Frankfurt, gefährdet[4].

¹Für kleine Sportflugzeuge liegt die Grenze bei ca. 20 Knoten, bei größeren Flugzeuge bei etwa 40 bis 50 Knoten.

Die Auswirkung des Niederschlags am Boden, die man auch aus dem Straßenverkehr kennt, ist das Aquaplaning. Eine Schicht von Regenwasser auf der Runway setzt die Bodenhaftung der Flugzeugreifen deutlich herab. Durch die verminderte Bodenhaftung wird es schwieriger oder sogar unmöglich ein Flugzeug zu starten oder zu landen, denn es kann durch Rutschgefahr seitlich von der Runway abkommen oder wegen der verminderten Bremswirkung über sie hinausrutschen[4].

Dazu kommt noch eine Verminderung der Sichtweite durch den Niederschlag. Zum einen durch die Wolken, die den Niederschlag verursachen und zum anderen durch den Niederschlag selbst.

Eine weitere Wettererscheinung, die den Betrieb des Flughafens beeinträchtigt, ihn sogar zum Erliegen bringen kann, ist die Vereisung der Runwayoberflächen. Ist eine Runway von einer Eisschicht bedeckt, kann kein Flugzeug darauf starten oder landen, da praktisch keine Haftung zwischen der Runway und dem Flugzeugreifen besteht. Ein landendes Flugzeug würde mit hoher Geschwindigkeit von der Runway wegrutschen. Damit eine vereiste Runway wieder in Betrieb genommen werden kann, muss diese mit hohem Aufwand kosten- und zeitintensiv enteist werden. Am Flughafen in Frankfurt sind im Falle einer Vereisung bis zu 30 Spezialfahrzeuge, sogenannte Kehrblasgeräte, und bis zu 240 Personen im Einsatz, um die Runways zu enteisen. Der Vorgang des Enteisens dauert durchschnittlich 45 Minuten und in dieser Zeit kann kein Flugzeug starten oder landen [1]. Wenn Vereisung oder Schneefall andauern, werden die Runways abwechselnd geräumt und nur die zuletzt geräumte Runway betrieben.

Vereisungen an Tragflächen von Flugzeugen verschlechtern die Strömungseigenschaften der Tragflächen. Eine häufige Folge davon ist die Herabsetzung des Auftriebs, weswegen ein sicheres Starten unmöglich wird. Des Weiteren können Schnee und Eis sich auch in den Triebwerken sammeln und eine Unwucht verursachen oder sogar das Triebwerk komplett zum Ausfall bringen [4]. Deshalb müssen auch Flugzeuge kurz vor ihrem Start enteist werden. Sollte sich ein Start

zusätzlich noch kurzfristig verzögern, kann es sogar vorkommen, dass der Vorgang des Enteisens wiederholt werden muss, weil sich in der Wartezeit erneut Eis am Flugzeug gebildet hat.

Natürlich hat auch dichter Schneefall eine stark negative Auswirkung auf die Sichtweite. Diese wird deutlich herabgesetzt und kann auf 50 - 200m sinken [3]. Es gibt zwar Systeme für einen reinen Instrumentenflug, die ein Flugzeug ohne Hilfe des Piloten landen können, aber diese Systeme sind nicht an allen Flughäfen installiert und nicht alle Flugzeuge haben ein solches System. Daher ist in vielen Fällen eine gute Sicht für eine sichere Landung unverzichtbar.

Gewitter nehmen eine kleine Sonderrolle ein, denn sie wirken sich mehrfach aus. Die größte Gefahr eines Gewitters ist der Blitzschlag. Durch den Blitzschlag können kleinere aber auch fatale Schäden am Flugzeug entstehen. Es ist zum Beispiel möglich, dass Piloten von Blitzen geblendet werden. Und ein Blitzschlag, der das Flugzeug trifft, kann einen Ausfall in dessen Elektronik hervorrufen oder sogar den Tank zum explodieren bringen[4]. Selbst wenn solche katastrophalen Schäden ausbleiben kann der Rumpf eines Flugzeuges, dessen Hülle nicht aus Metall besteht und daher keinen Faraday'schen Käfig bildet, durch die extreme Hitze des Blitzschlages an den Ein- und Austrittspunkten beschädigt werden.

Der Blitzschlag ist nicht die einzige Gefahr, die ein Gewitter birgt. Denn ein Gewitter verursacht in vielen Fällen auch andere Wettererscheinungen. So werden Gewitter oft von Hagel oder Niederschlag begleitet, begünstigen Vereisungen am Flugzeug und verursachen Turbulenzen und Scherwinde. Außerdem wird die Sichtweite stark vermindert.

2.2 Auswirkungen auf die Sicherheit

Die zuvor genannten Probleme, die durch das Wetter verursacht werden können, wirken sich direkt auf die Sicherheit aus. Die Beispiele für die Einflüsse des Wetters auf den Luftverkehr haben deutlich gezeigt wie gefährlich sich schon einzelne Wettererscheinungen auswirken können. In den Vereinigten Staaten sind rund

23% aller Unfälle auf eine Beeinflussung durch das Wetter zurückzuführen[3].

2.3 Auswirkungen auf die Pünktlichkeit

Wie die vorangegangenen Beispiele deutlich zeigen kann das Wetter für erhebliche Wartezeiten sorgen. Hier liegt auch das Hauptproblem der Wetterereignisse. Der Einfluss des Wetters kann die Pünktlichkeit von Starts und Landungen negativ beeinflussen. Es entsteht für jeden betroffenen Flug eine Verspätung, ein sogenanntes Delay. Von einem Delay spricht man, wenn das Flugzeug sich um mehr als 15 Minuten verspätet [6]. Die Delays der einzelnen Flugzeuge können sich auf Anschlussflüge übertragen und sich so summieren.

Flugzeuge, die schon verspätet gestartet sind, können vom Wetter gezwungen werden noch später zu landen und somit ihr Delay weiter zu erhöhen. Bei diesen Betrachtungen ist aber auch die Auslastung des Flughafens mit einzubeziehen. An einem Flughafen, der nahe seiner Kapazitätsgrenze arbeitet, wie beispielsweise in Frankfurt, ist der Einfluss des Wetter deutlicher zu spüren als an einem weniger stark ausgelasteten Flughafen, z.B. in Hamburg. Einerseits dadurch, dass ein verspätetes Flugzeug eine Runway unplanmäßig belegt. Andererseits dadurch, dass andere Flugzeuge noch auf Passagiere aus dem verspätet landenden Flugzeug warten. Wenn sich der Start verzögert, so verpasst das Flugzeug seinen Slot² und muss darauf warten, dass es von der CFMU (Central Flow Management Unit) einen neuen Slot zugewiesen bekommt. An einem Flughafen mit mehr als tausend Flugbewegungen am Tag kann es schnell passieren, dass sich die Verspätung eines einzelnen Flugzeuges gleich auf viele Flugzeuge auswirkt. Ein sich einmal aufgebautes Delay kann auch ohne Wettereinfluss weitere Verspätungen nach sich ziehen.

Die anfänglichen Delays, im Bereich von Minuten, summieren sich somit leicht zu Verspätungen im Bereich von Stunden. Die verlorene Zeit kann nicht durch einen schnelleren Flug wieder eingeholt werden. Um die Fluggeschwindigkeit

²Unter einem Slot versteht man einen Zeitraum von 15 Minuten, in dem ein Flugzeug starten darf.

deutlich zu erhöhen, müsste das Flugzeug steigen, um in eine andere Flughöhe zu gelangen. Diese Entscheidung darf der Pilot nicht eigenmächtig treffen, denn durch das hohe Verkehrsaufkommen in der Luft könnte er anderen Flugzeugen zu nahe kommen und den vorgeschriebenen Sicherheitsabstand unterschreiten. Im Allgemeinen tritt erst in den Abend- und Nachtstunden eine Entspannung ein, da zu dieser Zeit das Verkehrsaufkommen weitaus geringer ist[6].

2.4 Finanzielle Sicht

Ein bekanntes Sprichwort sagt, dass Zeit Geld sei. Das Sprichwort ist hier zutreffend, denn die verlorene Zeit ist nicht das einzige Problem. Durch die Verspätungen werden hohe Kosten verursacht. Nach amerikanischen Studien beträgt der finanzielle Verlust durch Verspätungen im Flugverkehr jährlich rund fünf Milliarden US-Dollar. Davon soll mit 65% der weitaus größte Anteil der Verluste durch den Einfluss des Wetters entstanden sein [5].

2.5 Der Nutzen einer Wetterdarstellung

Viele der Wettererscheinungen müssen nicht zwangsläufig zu Unfällen oder Delays führen oder als unumgängliche Sicherheitsrisiken eingestuft werden. Sind zu erwartende Wetterereignisse bereits vor ihrem Eintreten bekannt, so kann in geeigneter Weise darauf reagiert werden. Ein passendes Beispiel dafür ist die in Abschnitt 2.1 beschriebene Vereisung von Runways. Werden bei drohender Vereisung der Runways frühzeitig Maßnahmen ergriffen, kann einer tatsächlichen Vereisung effektiv vorgebeugt werden. Und das in einer wesentlich kürzeren Zeit als eine Enteisung in Anspruch nehmen würde. Ist den Lotsen bekannt, dass sich die Windrichtung kontinuierlich ändert und damit die Betriebsrichtung geändert werden muss, so können Verzögerungen von Starts und Landungen minimiert werden, wenn die Piloten betroffener Flugzeuge rechtzeitig davon unterrichtet werden. Sind Gewitter am Flughafen zu erwarten, können Flüge umgeleitet oder zeitlich verschoben werden, um dem Gewitter zu entgehen.

Mit diesen und weiteren Maßnahmen würde letztlich viel Zeit und Geld gespart. Daher werden an Flughäfen Wetterwarten betrieben, um Informationen über das Wetter zu sammeln. Die gemessenen Werte sind nur von geringem Nutzen, wenn es schwierig ist sie zu verstehen oder viel Zeit braucht, sie zu lesen und zu interpretieren. Der Einsatz eines Systems, welches das Wettergeschehen rund um den Flughafen erfasst und in einer geeigneten Form darstellt, ist also für den effizienten und möglichst sicheren Betrieb eines Flughafens unerlässlich.

Kapitel 3

Übersicht aktueller Wetterdisplays

In diesem Kapitel werden einige markante Entwicklungen aus dem Bereich der Wetterdarstellung vorgestellt, um einen Eindruck davon zu vermitteln, welche Formen die Entwicklungen auf diesem Gebiet bereits angenommen haben. Dabei werden sowohl kommerzielle Produkte, als auch Programme aus der Forschung und private oder experimentelle Lösungen vorgestellt. Nicht alle der hier vorgestellten Systeme sind speziell für Flughäfen entwickelt worden, aber alle werden an Flughäfen verwendet.

3.1 ASDUV

Der Deutsche Wetterdienst ist unter anderem dafür zuständig an Flughäfen, die das Bundesministerium für Verkehr (BMV) aus Gründen der Sicherheit oder aus verkehrspolitischem Interesse entsprechend eingestuft hat, eine meteorologische Fachaufsicht durchzuführen. Dafür werden die Flugplätze mit Wetterwarten ausgerüstet, diese Stationen betrieben und gewartet. Außerdem können Flugplätze, die hiervon nicht betroffen sind, auf Antrag und zu Lasten des Flugplatzbetreibers auch mit Wetterwarten ausgestattet werden.

Nach Beratungen, dem Aufbau, der Inbetriebnahme und der Abnahme der

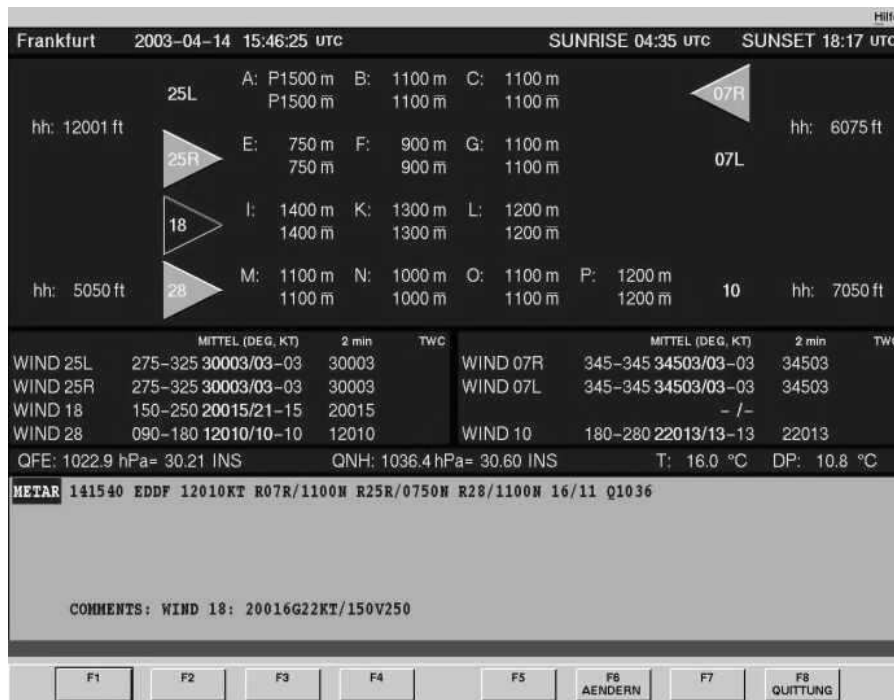


Abbildung 3.1: Landebahnübersicht (Flugwettersystem ASDUV), DWD 2004

Messgeräte und der Einweisung des Personals durch den DWD kann der Betrieb der Wetterbeobachtung aufgenommen werden. Dabei werden Daten zu Windrichtung und -geschwindigkeit, meteorologischer Sichtweite, Landebahnsichtweite, Wolkenhöhe, Lufttemperatur, Taupunkttemperatur, Luftdruck, Landerichtung und Uhrzeit gemessen und erfasst.

Die gemessenen Daten werden teilweise unverarbeitet, teilweise vorverarbeitet in den Tower übertragen. Falls es nötig ist, werden Werte von Hand nachgetragen und dann in geeigneter Weise zur Darstellung aufbereitet. Es werden zum einen METAR-Meldungen¹ generiert, zum anderen Meldungen, die ausschließlich für Starts und Landungen genutzt werden. Die Daten werden dem Flugsicherungspersonal dann an mehreren Bildschirmen angezeigt. Dafür kommt das Flugwettersystem ASDUV² des DWD zum Einsatz. Diese Software ist deutschlandweit im Einsatz. Die Abbildungen 3.1 und 3.2 zeigen zwei Bildschirmfotos davon.

¹Für eine genauere Beschreibung von METAR-Meldungen siehe Anhang A.

²Automatisches System zur Datenerfassung und -verarbeitung

Die Abbildung 3.1 zeigt einen Bildschirm mit einer Übersicht der relevanten Daten nach den einzelnen Runways aufgebaut. In der obersten Leiste werden allgemeine Informationen, wie Standort, Uhrzeit und die Zeiten von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang, angezeigt. Direkt darunter werden die Runways entsprechend ihrer Betriebsrichtung zusammen mit der jeweilig gemessenen Sichtweite aufgelistet. Im mittleren Teil werden die Winde an den Runways angezeigt. Im unteren Teil werden METAR-Meldungen und Kommentare ausgegeben.

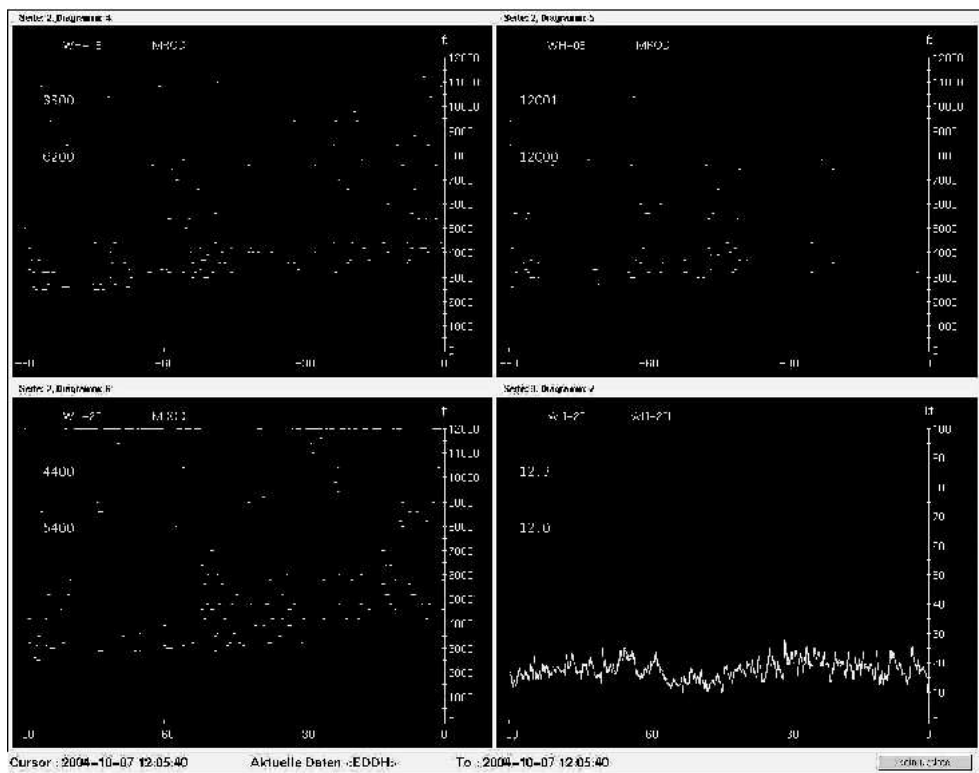


Abbildung 3.2: Diagramme (Flugwettersystem ASDUV), DWD 2004

Das zweite Bildschirmfoto in Abbildung 3.2 zeigt Diagramme mit verschiedenen Messergebnissen. Die ersten drei Diagramme zeigen die Messungen der Wolkenhöhen, die von verschiedenen Laserwolkenhöhenmessern ermittelt wurden. Das vierte Diagramm zeigt den Verlauf der Windgeschwindigkeit in den letzten 90 Minuten an.

3.2 MIDAS IV

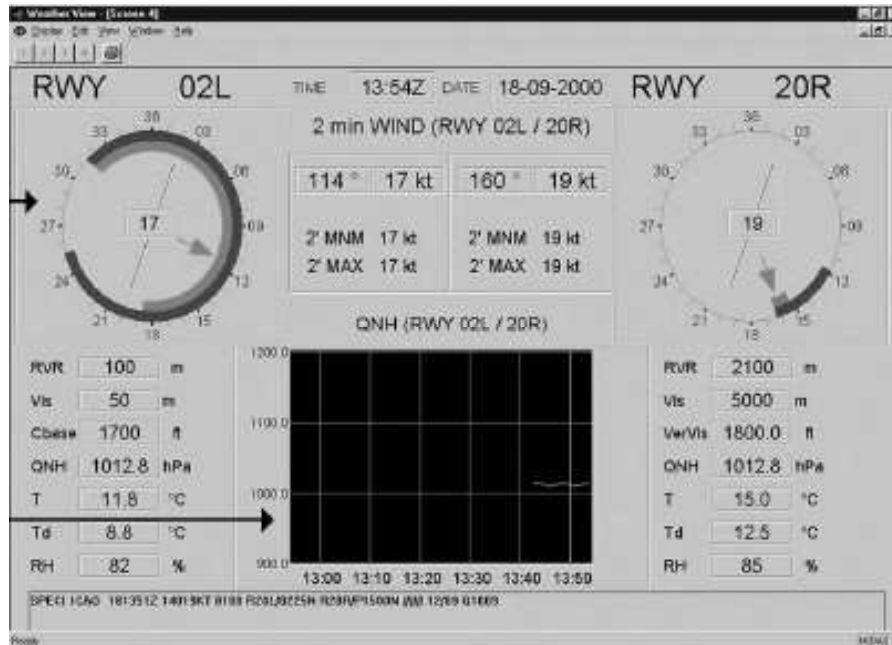


Abbildung 3.3: Bildschirmfoto MIDAS IV, Vaisala 2005

Die finnische Firma Vaisala ist nach eigenen Angaben weltweit größter und führender Hersteller für Instrumente und Messgeräte zur Wettererfassung und darüber hinaus auch im Consulting tätig. Vaisala bietet eine breite Palette von Geräten an, die alle relevanten Wetterdaten beobachten und messen, die für den Betrieb eines Flughafens von Bedeutung sind.

Neben der Hardware wird auch ein AWOS³ mit dem Namen *MIDAS IV*⁴ angeboten. Dabei handelt es sich um eine konfigurierbare Oberfläche mit mehreren ganzseitigen Darstellungen, die als *Screen* bezeichnet werden. Es gibt insgesamt fünf solcher Screens, die jeweils unterschiedliche Daten anzeigen. Das MIDAS IV bietet beispielsweise die Möglichkeit das Farbschema der Anzeige im Betrieb zu verändern. Diese Funktion wird häufig verwendet, um eine für den Nachtbetrieb angenehmere Darstellung anzuwenden.[13]

³Automated Weather Observing System

⁴MIDAS ist ein Kunstwort, keine Abkürzung

Das Bildschirmfoto in Abbildung 3.3 zeigt den Aufbau des vierten Screens. In der Abbildung ist links und rechts eine Windrose mit einer symbolischen Runway zu sehen. Hier werden die aktuelle Windrichtung und die Variationen der Windrichtung in den letzten 2 und den letzten 10 Minuten angezeigt. Unterhalb der Windrosen finden sich zu dem jeweiligen Runway gehörende Daten, wie z.B. die Sichtweite. In der Mitte befindet sich ein Diagramm mit dem Verlauf des Luftdrucks. Am unteren Rand werden empfangene METAR-Meldungen angezeigt.

3.3 Meteo-Online

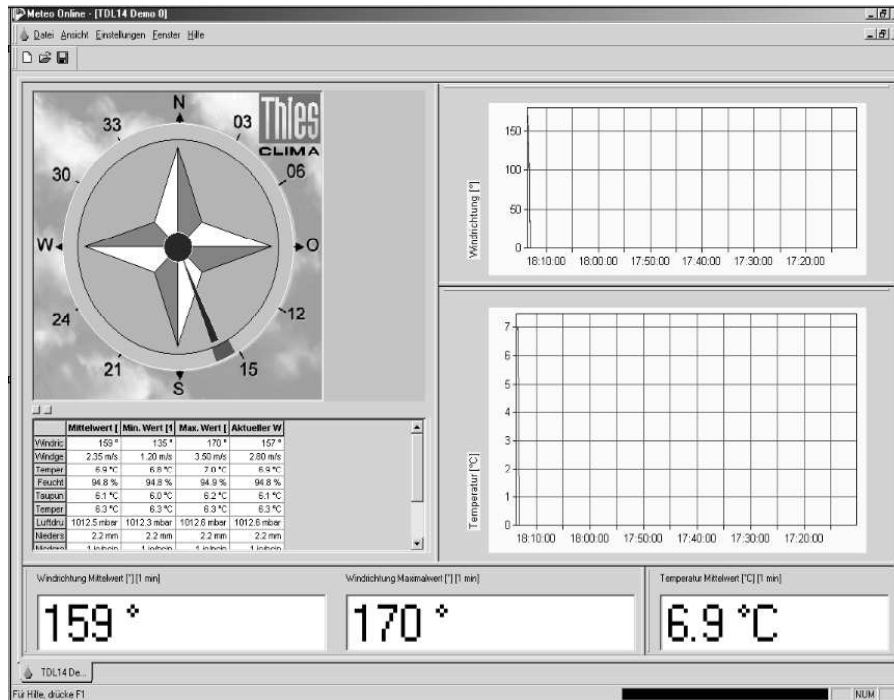


Abbildung 3.4: Bildschirmfoto Meteo-Online, Thies Klima 2005

Von der Firma Thies Klima werden neben einer Vielzahl von meteorologischen Messgeräten auch einige Programme zur Visualisierung der Messdaten angeboten. Die für diese Arbeit interessante Software *Meteo-Online* ist eine konfigurierbare Anzeige mit Archivierungsfunktionen. Die gemessenen Daten werden

an einen Server gesendet, der seinerseits die Daten an beliebig viele Clients zur Anzeige weitergibt.

Das Programm ermöglicht es dem Anwender verschiedene Oberflächen zusammenzustellen und so die Daten in der jeweils benötigten Form darzustellen. Die Daten werden in Grafiken, Diagrammen und Tabellen dargestellt. Einzelne Messwerte können in separaten Textboxen ausgegeben werden. Die Anordnungen der einzelnen Elemente sind vollständig zur Laufzeit vom Benutzer einstellbar.

In Abbildung 3.4 ist ein möglicher Bildschirm von Meteo-Online zu sehen. In der Ecke oben links befindet sich eine Windrose, die mit Hilfe eines Zeigers die momentane Windrichtung anzeigt. Auf dem Rand der Windrose wird durch einen kleinen Balken der Bereich angezeigt, in dem der Wind in der letzten Zeit schwankte. Direkt darunter befindet sich in einer Tabelle eine Übersicht der Mittel-, Minimal- und Maximalwerte und die aktuell gemessenen Werte aller angeschlossener Sensoren. In der rechten Bildhälfte zeigen zwei Diagramme den Verlauf der Windrichtung und der Lufttemperatur an. Darunter befinden sich drei Textboxen, die den Mittelwert und Maximalwert der Windrichtung sowie den Mittelwert der Temperatur anzeigen.

3.4 BLIDS

Die Siemens AG hat ein System entwickelt um Blitzschläge zu erfassen und diese Informationen innerhalb kurzer Zeit weiterzuleiten. Das System trägt den Namen BLIDS, ein Akronym für den *Blitz-Informationen-Dienst von Siemens*. Neben der folgenden Darstellung werden die gesammelten Gewitterdaten auch auf den Standard-Displays des DWD angezeigt [14].

Die Komponente von BLIDS, die zur Darstellung der Blitzschläge dient, ist das sogenannte BLIDS_live. BLIDS_live zeigt die aktuellen Blitze auf einer Landkarte von Deutschland an. Aber auch spezielle Landkarten können auf den Wunsch eines Kunden angefertigt werden. BLIDS_live ist kein selbständiges Programm, sondern wird in einem Internetbrowser ausgeführt. Abbildung 3.5 zeigt ein Bildschirmfoto von BLIDS_live.

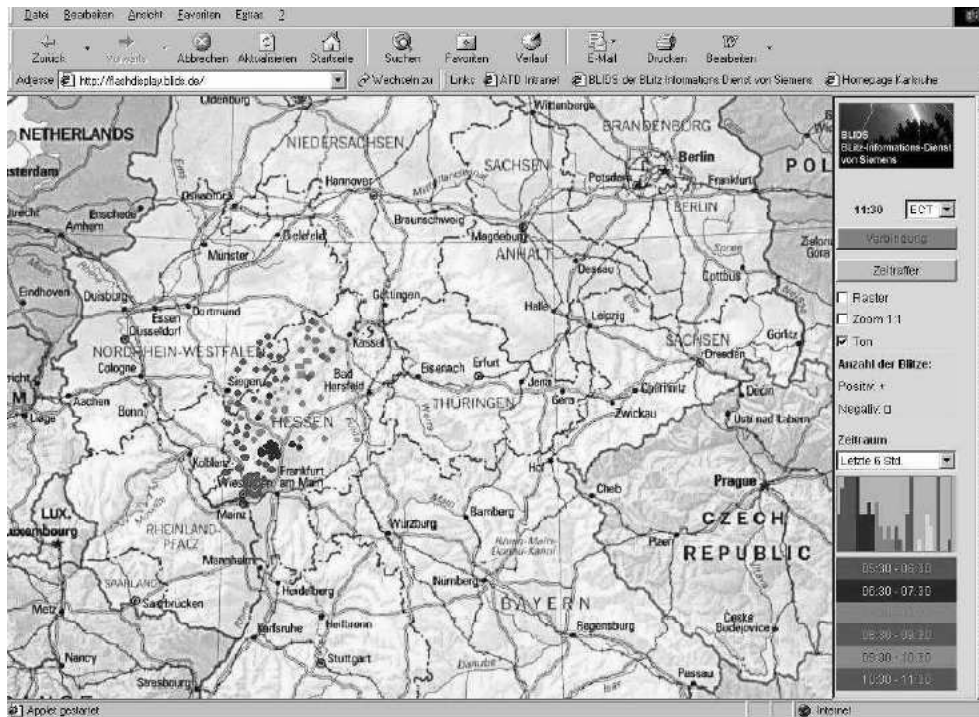


Abbildung 3.5: Bildschirmfoto BLIDS_live, Siemens 2002

Die Blitze werden als farbige Punkte auf der Karte eingetragen. Dabei entspricht die Farbe eines Punktes dem Alter der Eintragung. Durch den entstehenden Farbverlauf einzelner Punkte ist es möglich, die Wanderung eines Gewitters in einem gewählten Zeitraum, zu verfolgen. Die Blitzschläge können auch im Zeitraffer betrachtet werden. Zusätzlich gibt es eine Statistik über die zeitliche Verteilung der Blitze im gewählten Zeitraum.

3.5 MIAWS

Das Massachusetts Institute of Technology, kurz MIT, ist stark an der Entwicklung von Softwaresystemen für Flughäfen beteiligt. So wurde unter anderem das Medium-Intensity Airport Weather System (MIAWS), im Auftrag der Federal Aviation Administration (FAA), entwickelt. Es dient als Wetteranzeige und System zur Warnung vor bedrohlichen Wetterereignissen und wurde als reine Anzei-

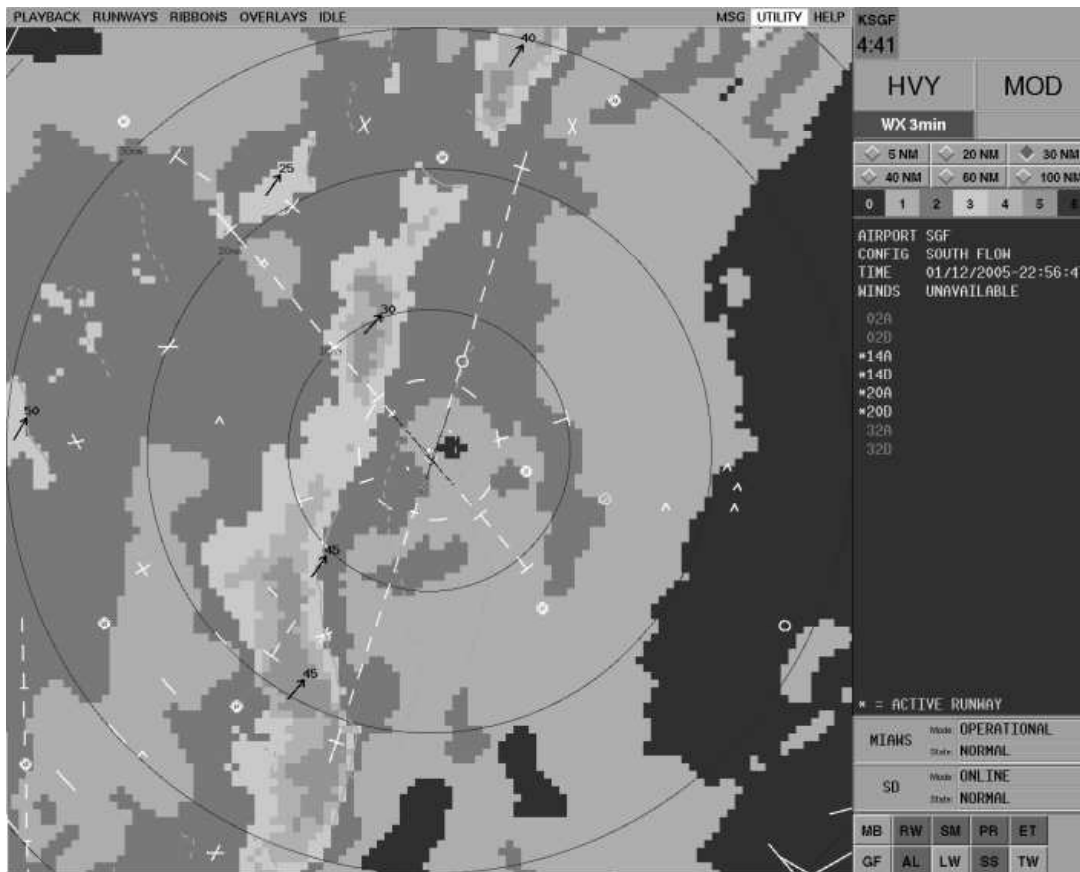


Abbildung 3.6: Bildschirmfoto MIAWS, MIT 2001

ge, die möglichst wenig Interaktion bedarf, entwickelt. Das MIAWS ist seit fünf Jahren im operationellen Betrieb und wird ausschließlich in Einrichtungen, die der amerikanischen Regierung unterstehen, eingesetzt. Es ist nicht frei verkäuflich.

Es besteht aus einem Computer, der die von einem NEXRAD⁵ Radar-System gemessenen Wetterdaten verarbeitet und aufbereitet sowie einer unbestimmten Anzahl von reinen Display-Computern. Diese zeigen sowohl aktuelle Niederschläge als auch graphische und textbasierte Warnmeldungen mit einer Vorschau von ca. 20 Minuten. Es werden jedoch einige Wettererscheinungen, wie Vereisung oder

⁵NEXRAD ist ein amerikanisches Netzwerk von Wetterradar-Systemen, die landesweit Wettermessungen durchführen.

Temperaturen, gar nicht berücksichtigt.

Die Abbildung 3.6 zeigt ein Bildschirmfoto des MIAWS. Der große Hauptteil ist das Wetterdisplay auf der linken Seite. Rund um den zentral gelegenen Flughafen werden die Intensitäten der Niederschläge durch Einfärbungen der Umgebung gekennzeichnet. Kleine schwarze Pfeile zeigen die Richtung und die Stärke von Winden und Stürmen an. Die kleinen, weißen Kreuze stellen andere Flughäfen dar. Die anderen kleinen, weißen Linien sind Navigationsmarken für Flugzeuge. Auf dem rechten Rand werden textbasierte Meldungen ausgegeben und er enthält einige kleine Konfigurationsmöglichkeiten.

3.6 WARP und ODS-Toolbox

Von der FAA wurde der *Weather and Radar Processor* entwickelt. Dabei handelt es sich um ein Netzwerk zur Verbreitung von Wetterdaten des National Weather Service⁶ (NWS). Der NWS misst und sammelt Wetterdaten mit Hilfe von NEXRAD-Systemen in ganz Nordamerika und fasst diese in regionalen Karten zusammen. Die gesammelten Daten werden über den WARP an alle nationalen Flughäfen verteilt. Seit 2002 ist WARP an allen amerikanischen Flughäfen installiert.

Die Anzeige der Wetterdaten erscheint nicht in einer gesonderten Software, sondern wird direkt in das Radarbild integriert. Die Abbildung 3.7 zeigt ein Bildschirmfoto des Radarbildes. So werden auf dem Radarbild unter den Flugzeugen und Routen-Symbolen eingefärbte Flächen, die dem Wetter entsprechen, eingeblendet. Die Farben sind der Hintergrundfarbe des Radarbildes ähnlich, damit ein Kontrast zu den beweglichen Symbolen erhalten bleibt. Hier ist ein direkter, visueller Bezug zwischen den Positionen von Wetterereignissen und Flugzeugen hergestellt. In Abbildung 3.7 sind diese Einfärbungen in der Mitte des Bildes als die großen Flächen mit unscharfen Konturen zu sehen.

Zusätzlich erhalten auch die Piloten diese Daten in exakt der gleichen Dar-

⁶Der NWS ist das amerikanische Equivalent zum Deutschen Wetterdienst

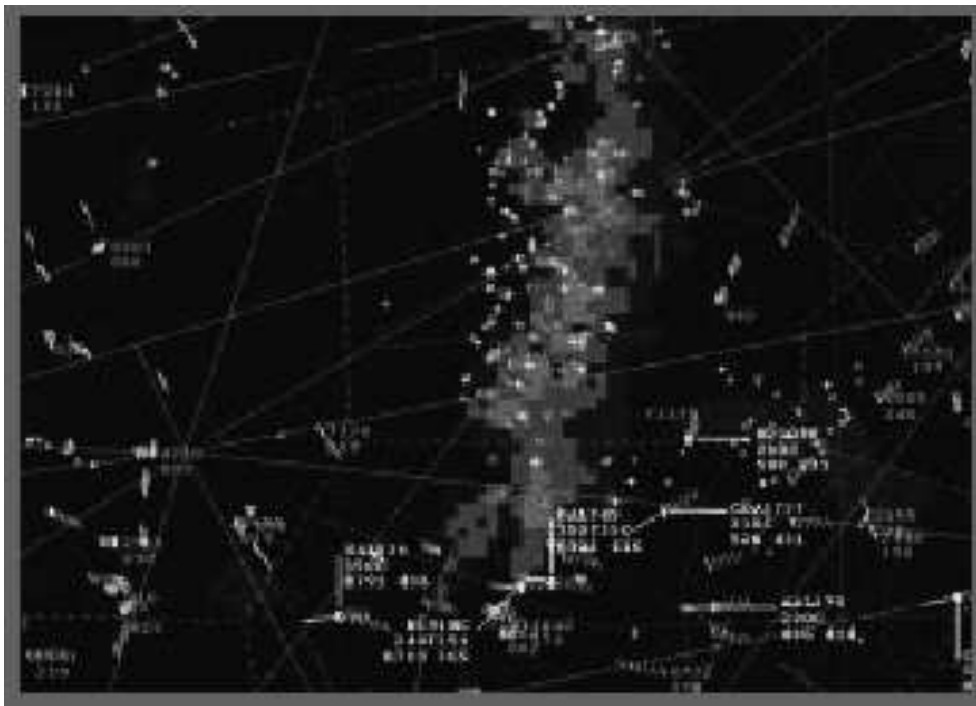


Abbildung 3.7: Bildschirmfoto WARP, FAA 2002

stellung. Dadurch soll erreicht werden, dass sich die Kommunikation zwischen den Lotsen und den Piloten vereinfacht. Denn auch wenn beide Parteien sich nur über den Sprechfunk unterhalten, so haben sie doch das gleiche Bild vor Augen.

Einen sehr ähnlichen Ansatz gibt es auch von der Firma Barco. Als ein Bestandteil der sogenannten ODS-Toolbox wird auch in diesem Fall die Wetteranzeige in eine andere Anzeige eingeblendet. Die Abkürzung ODS steht für *Operational Display Systems*. Dabei handelt es sich um ein Baukastensystem mit dem Anzeigen für verschiedene Flugsicherungsaufgaben erstellt werden können. Alle verfügbaren Daten werden in einzelnen Ebenen, sogenannten Layern, bereitgestellt. Diese transparenten Layer können beliebig übereinandergelegt werden, um eine individuelle Anzeige zu erhalten.

Eine dieser Ebenen beinhaltet die Wetterinformationen. Anders als bei der vorhergehenden Anzeige werden die Daten jedoch nicht farblich kodiert. Hier

werden die Intensitäten durch verschiedene Pixelmuster dargestellt. Das Muster selbst hat dabei keine besondere Bedeutung. Mit Musterung wird, ähnlich wie bei Bildern in der Tageszeitung, durch eine bestimmte Dichte der Punkte eine gewisse *Färbung* angedeutet und gleichzeitig wird eine gewisse Transparenz erreicht. Dadurch bleibt auch in diesem Fall die Übersichtlichkeit erhalten.

3.7 DLR

Im *Institut für Physik der Atmosphäre* im Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Oberpfaffenhofen wird ein völlig anderer Ansatz verfolgt. Dort wird eine Wetterstation betrieben, die ursprünglich als Windwarnanlage für das dortige Wetterradar dienen sollte. Die Daten werden in einfachen ASCII-Dateien gesammelt und archiviert. Zur Anzeige gebracht werden diese Daten nur durch Diagramme für die einzelnen Parameter Temperatur, Feuchte, Druck, Windrichtung und -stärke. Die archivierten Diagramme und ASCII-Dateien sind auf der Internetseite des DLR in Oberpfaffenhofen zu finden [17]. Dort wird auch deutlich darauf hingewiesen, dass die Daten nicht für kommerzielle Zwecke zu verwenden sind. Das System ist an den Flugplatz in Oberpfaffenhofen angepasst und ist nicht dafür entwickelt worden, an einem anderen Flugplatz aufgebaut zu werden. Jedoch wird es von regionalen Segelfliegern und Gleitschirmfliegern genutzt.

Auf den Diagrammen in Abbildung 3.8 werden drei unterschiedliche Messungen gezeigt. Das erste Diagramm zeigt den historischen Verlauf der Temperatur am Tage der Messung. Das zweite Bild zeigt eine Übersicht der gemessenen Windrichtung. Dadurch, dass die Messungen periodisch und nicht kontinuierlich durchgeführt werden, kommt es zu Sprüngen in den Messergebnissen der Windrichtung. Das dritte und letzte Diagramm zeigt die gemessenen Windstärken der letzten Zeit an. Aus den gleichen Gründen wie zuvor, kommt es auch hier zu Sprüngen in den Messwerten.

Wie deutlich zu erkennen ist, werden die Daten also nicht speziell für die Verwendung an einem Flugplatz formatiert. Jedoch werden gemessene Daten aus

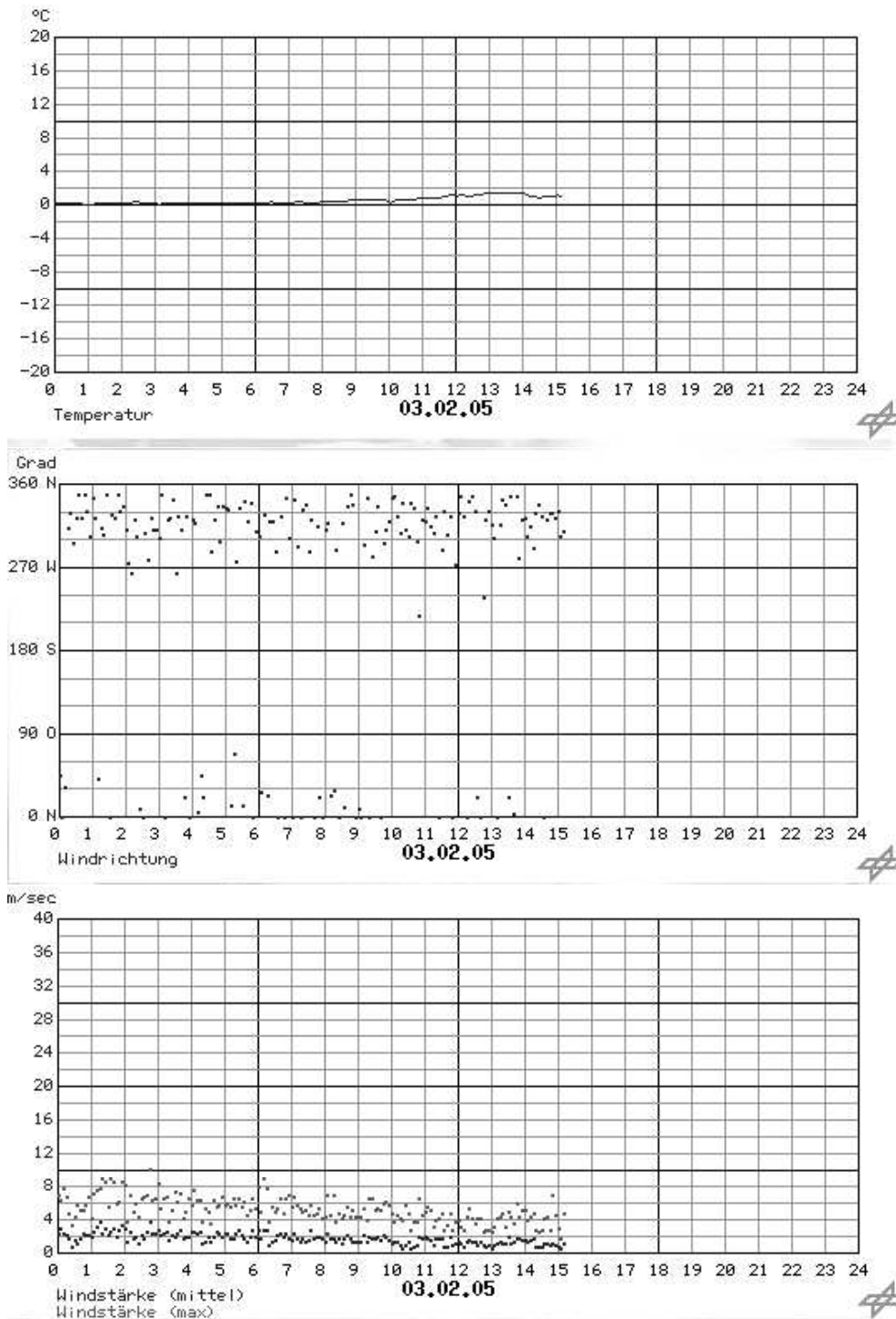


Abbildung 3.8: Diagramme der Messwerte, DLR 2005

über 10 Jahren, sowie den aktuellen Daten, angeboten. Durch statistische Auswertung der archivierten Daten könnten sich für den lokalen Flugverkehr Informationen gewinnen lassen. Durch das Angebot der ASCII-Dateien ließen sich auch andere (graphische) Anzeigen entwickeln.

3.8 Selbstbriefing-Programme

Neben den zuvor vorgestellten Programmen, die speziell für Flughäfen entwickelt wurden, gibt es sogenannte Selbstbriefing-Programme, die in der Hauptsache von Piloten genutzt werden. Obwohl diese Programme nicht gezielt auf die Problemstellungen an Flughäfen eingehen, sollen sie nicht unbeachtet bleiben, denn die Form der Darstellung kann auch für einen Flughafen in Frage kommen. Jedoch wird an dieser Stelle nur auf das Programm *pc_met* vom Deutschen Wetterdienst eingegangen, da es sich dabei um eines der umfangreichsten handelt.

Die Aufgabe des Programmes ist es, Piloten bei den Flugvorbereitungen zu unterstützen. Daher beziehen sich die dargestellten Wetterdaten nicht speziell auf einen Flughafen, sondern auf die Route, die ein Pilot zu fliegen plant. *pc_met* unterstützt den Piloten dabei auf verschiedene Arten. Er bekommt METARs und TAFs, Warnungen und Berichte. Flugwetterübersichten gibt es für Deutschland, Österreich und die Schweiz. Eine Kernfunktionalität bilden die interaktiven Wetterkarten und Satellitenbilder. Es gibt viele verschiedene Diagramme und die Möglichkeit Übersichtskarten mit METAR-Meldungen, dem Wind in Bodennähe und der Verteilung von Niederschlägen anzuzeigen. Die Flugroute kann durch einfaches Klicken mit der Maus eingegeben werden. Die einzelnen Daten können in den Darstellungen ein und ausgeblendet werden[12]. *pc_met* verfügt noch über einige weitere Funktionen, die hier aber nicht weiter vorgestellt werden, da sie vor allem für Piloten von Interesse sind.

Die Daten für die Software werden über das Internet direkt von den Servern des DWD geladen und setzen ein kostenpflichtiges Abonnement voraus[16].

Die Abbildung 3.9 zeigt ein Bildschirmfoto von einer Wetterkarte in Nord-

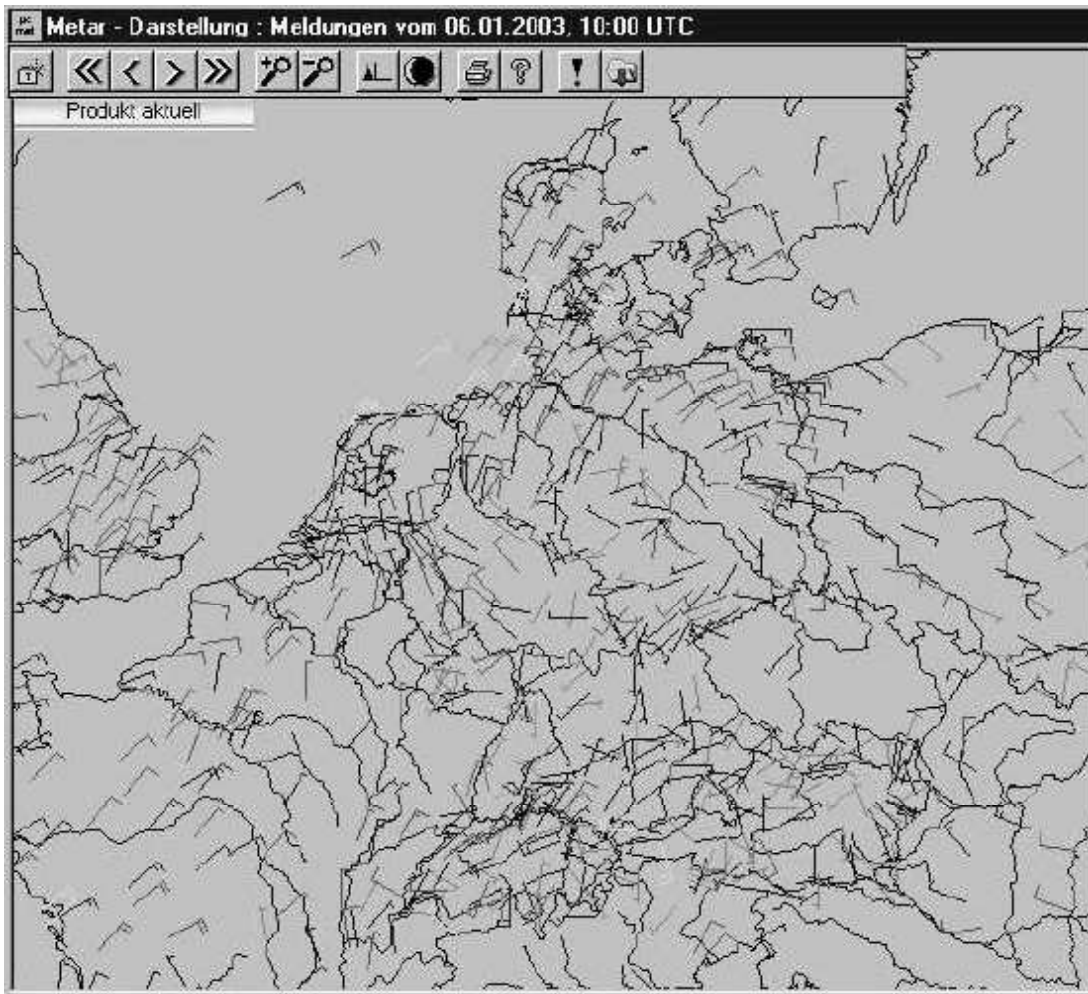


Abbildung 3.9: Bildschirmfoto pc_met, DWD 2005

deutschland. Besonders auffällig sind die zahlreichen und unübersichtlich wirkenden Windpfeile, welche die gemessenen und berechneten Bodenwinde im angezeigten Bereich darstellen.

3.9 lcdmetar

Die letzte betrachtete Software in diesem Kapitel ist eine Ausnahme, denn sie beinhaltet selbst keine Anzeige. Es ist ein kleines Programm, in der Sprache Python geschrieben, das METAR-Meldungen aus dem Internet abrufen. Die Mel-

dung wird auf einem LC-Display, das extern an einem PC angeschlossen wird, angezeigt. Der Vorteil dieser Lösung besteht darin, dass die Anzeige unabhängig arbeitet, also den Bildschirm des Computers nicht belegt. Nachteilhaft wirkt sich aus, dass das LC-Display selbst zusammengebaut oder gekauft werden muss.

Wie in Abbildung 3.10 zu sehen ist, werden die METAR-Daten entschlüsselt dargestellt. Da der Quelltext des Programmes erhältlich ist, lässt sich die Form der Ausgabe, mit Kenntnissen in Python, den eigenen Wünschen und Vorstellungen anpassen.

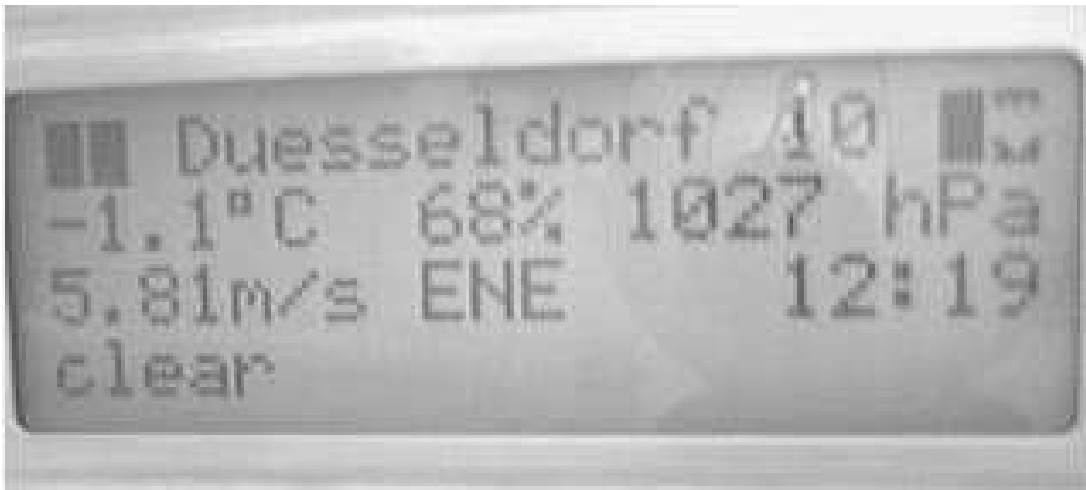


Abbildung 3.10: lcdmetar im Einsatz, Schwarzwogel 2005

Kapitel 4

Anforderungen an ein Wetterdisplay

Im vorherigen Kapitel wurde einige markante und zum Teil sehr unterschiedliche Wetterdisplays vorgestellt. In diesem Kapitel wird untersucht welche Anforderungen die Benutzer, überwiegend Lotsen, an solche Softwaresysteme haben. Für diese Untersuchung wurde ein Fragebogen erstellt. Dieser wurde an mehrere verschiedene Benutzer unterschiedlicher Wetterdisplays versendet und nach dem Rück Erhalt ausgewertet. Die Auswertung der Fragebögen und das Ergebnis der Auswertung bilden den Hauptbestandteil dieses Kapitels. Der Fragebogen ist in Anhang B zu finden.

4.1 Über die Untersuchung

Es gibt von der ICAO¹ allgemeine Vorschriften zur Flugsicherheit, unter anderem darüber, wie eine Wetterstation betrieben wird oder welche Daten gemessen werden müssen. Der Deutsche Wetterdienst ist dafür zuständig diese allgemeinen, internationalen Vorgaben für Deutschland umzusetzen, anzupassen und darauf zu achten, dass diese Vorschriften eingehalten werden. Da in dieser Untersuchung die Ansprüche der Nutzer und nicht unbeeinflussbare Vorschriften im Vordergrund

¹International Civil Aviation Organisation

stehen, werden diese Vorgaben hier nicht explizit berücksichtigt.

Die Untersuchung wurde mit Hilfe einer Umfrage, hauptsächlich unter Mitarbeitern verschiedener Flughäfen und -plätze, durchgeführt. Zusätzlich wurden Mitarbeiter von Firmen, wie dem DWD, befragt. Der Fragebogen wurde als Word-Dokument per E-Mail oder per Fax versendet.

Bei der Auswahl der Personen, die an der Befragung teilnehmen sollten, wurde darauf geachtet, dass es sich hauptsächlich um Mitarbeiter regionaler Flughäfen handelt. Der Grund dafür ist, dass regionale Flughäfen einer niedrigeren Klasse angehören als internationale Flughäfen. Das bedeutet sie unterliegen anderen Bestimmungen und können daher bei der Wahl der Wettersysteme eine eigenständigere Entscheidung treffen als internationale Flughäfen, die den strenger Vorschriften höherer Klassen unterliegen. An internationalen Flughäfen in Deutschland werden Wetterstationen ausschliesslich vom DWD aufgebaut und betrieben. Daher haben die Flughafenbetreiber keinen direkten Einfluss darauf, welche Systeme installiert werden. An regionalen Flughäfen muss der Betrieb der installierten Systeme auch erst vom DWD zugelassen werden, die Wahl des Systems steht aber frei.

Die Anzahl der Personen, die an der Umfrage teilgenommen haben, ist leider geringer als beabsichtigt. Es wurden etwa fünfzig Flughäfen und Mitarbeiter von Flughäfen angeschrieben. Viele der Flughäfen haben, auch nach mehreren Aufforderungen, ein deutliches Desinteresse geäußert oder erklärt, dass die Zeit zum Ausfüllen eines Fragebogens fehlt. Viele direkt angeschriebene Personen haben ihre E-Mail nicht gelesen oder nicht beantwortet. Für die Auswertung wurden insgesamt 12 beantwortete Fragebögen verwendet. Dadurch ist das Ergebnis der Umfrage nicht repräsentativ, bietet aber die Möglichkeit näher auf einzelne Angaben einzugehen.

Die Fragen wurden so gewählt, dass ein Eindruck des Systems, mit dem der Befragte arbeitet, entsteht und er die Möglichkeit hat mitzuteilen, welche Anforderung er an ein Wetterdisplay hat. Die Verbesserungen, welche das System erzielen konnte, und die Konfigurierbarkeit sind weitere Themen des Fragebogens. Um das Beantworten des Fragebogens zu beschleunigen, wurden mögliche

Antworten vorgegeben. Wenn diese Antwortmöglichkeiten nicht ausreichend oder unzutreffend waren, konnten die Fragen mit Stichworten beantwortet werden.

4.2 Auswertung der Umfrage

Da die Umfrage nicht als repräsentativ angesehen werden kann, wird auf eine statistische Auswertung verzichtet. Statt dessen werden die allgemeinen Anforderungen aufgezeigt und verstärkt auf einzelne Wünsche eingegangen. Die Programme, auf die sich die Antworten der befragten Personen beziehen, sind alle für einen operationellen Betrieb an den Flughäfen installiert und werden nach Angaben der Befragten bei der alltäglichen Arbeit genutzt. Aus den Angaben über die verwendete Software stellte sich heraus, dass an allen beteiligten Flughäfen verschiedene Produkte installiert sind.

Allgemein haben sich die Teilnehmer der Umfrage positiv über die Systeme mit denen sie arbeiten geäußert. Gezielte Kritik und Wünsche nach Verbesserungen wurden zwar genannt, jedoch wurde keines der Wetterdisplays als schlecht oder ungeeignet beschrieben. Die allgemeine Zufriedenheit mit den Wetterdarstellungen kann mehrere Ursachen haben. Es ist möglich, dass die Form der Darstellung für die Befragten weniger von Bedeutung ist, als die angezeigten Daten selbst. Eine andere Möglichkeit ist, dass sich die Befragten mit dem Thema noch nicht näher befasst haben und keine Vorstellungen haben, welche Vorteile eine andere Darstellung, als die ihnen bekannte, bringen könnte.

Der Umfang der von den jeweiligen Softwaresystemen angezeigten Daten ist größtenteils identisch. Im einzelnen sind das die Temperatur, der Taupunkt, die Wolkenhöhe, Windstärke und -richtung und der Luftdruck. Einige der Programme zeigen zusätzlich die Sichtweite am Boden und die Sichtweite des Piloten, die Luftfeuchtigkeit und den Niederschlag an. Die befragten Personen gaben an, dass die Daten, die ihnen angezeigt werden, denen entsprechen, die sie für Ihre Arbeit brauchen und keine unnötigen Informationen enthalten. Die Benutzer von Programmen, die verschiedene Daten, beispielsweise die Sichtweite am Boden, nicht anzeigen, gaben an, dass die fehlenden Daten für ihre Arbeit nützlich

wären. Dazu gehören vor allem die Winde in Bodennähe, Feuchtigkeit und der Niederschlag. Daten über die Sichtweite des Piloten und das Wetter an anderen Flughäfen wurden als weitestgehend unwichtig angegeben. Es ist daher sinnvoll Vorkehrungen zu treffen, dass alle diese Daten von einer Wetterdarstellung angezeigt werden können, bei Bedarf jedoch auch aus der Anzeige entfernt werden können.

Die Darstellungsform der ermittelten Wetterdaten wurde von allen Beteiligten gleich bewertet. Die Daten werden in geeigneter Form textuell und graphisch dargestellt. Dabei unterscheidet sich die Form der Darstellung nach der Art der Daten. Beispielsweise werden die Temperatur und der Taupunkt direkt als Zahlen zur Anzeige gebracht. Die Windrichtung und -geschwindigkeit werden durch einen Windpfeil auf einer Windrose dargestellt. Die gemessenen Werte für die Wolkenhöhe oder den Luftdruck werden zusätzlich als Liniendiagramme dargestellt, mit einem Verlauf der bis zu 3 Stunden in die Vergangenheit reicht. Alle Beteiligten gaben an, dass die Form in der die Wetterdaten präsentiert werden, der Form entspricht, die ihnen am nützlichsten ist. Nur in einem Fall wurde angegeben, dass auch eine tabellarische Darstellung in dem Wetterdisplay vorhanden sei, diese wurde jedoch als unnötig bewertet.

Die angezeigten Wetterinformationen werden, an allen beteiligten Flughäfen, von vor Ort installierten Messgeräten und Sensoren gemessen und gemeldet. Daher beziehen sich die angezeigten Daten auch nur auf ein Gebiet um den jeweiligen Flughafen. Die Daten werden in verschiedenen Intervallen gemessen und aktualisiert. Die Dauer der Aktualisierungsintervalle liegt allgemein unter 30 Sekunden. Die exakte Dauer wird unter anderem durch die Art der Sensoren und der Wettererscheinung bestimmt. Einer der Befragten gab beispielsweise an, dass der Wind alle 3 Sekunden und die Wolkenhöhe alle 15 Sekunden gemessen wird. In manchen Systemen werden die Daten erst bei signifikanten Änderungen aktualisiert. Die ansonsten relativ kurzen Zeiträume zwischen den Aktualisierungen der Winddaten sind vor allem von Bedeutung, um plötzlich auftretende Seitenwinde zu erkennen. Keiner der Teilnehmer gab an, dass die Daten nicht aktuell genug sind oder kürze Zeiträume zwischen den Messungen besser wären.

Ein Thema zu dem sehr unterschiedliche Angaben gemacht wurden und es verschiedene Meinungen gibt, ist die Archivierung der gemessenen Wetterdaten. Knapp die Hälfte der Befragten gab an, dass die Daten nicht archiviert werden. Von den anderen wurden zur Archivierung selbst sehr verschiedene Angaben gemacht. So werden in einem Fall die Daten 30 Tage behalten, in einem anderen Falle seit 1997 komplett gesichert. Ebenfalls unterscheiden sich die gesicherten Daten. Von manchen Systemen werden die Informationen minütlich gespeichert, andere Programme speichern nur stündliche Mittelwerte. Von einem der Befragten wurde zusätzlich darauf hingewiesen, dass die Daten zwar archiviert werden, die gespeicherten Daten jedoch nicht weiter verwendet werden. Allgemein, auch von den Nutzer der Systeme ohne diese Funktionalität, wird die Archivierung der Daten als sinnvoll bezeichnet. Daher sollte das Thema Archivierung bei zukünftigen Entwicklungen von Wetterdisplays berücksichtigt werden. Möglichkeiten zur Datenarchivierung und zur Wiedergabe der gesammelten Daten sollten in einem anpassbaren Umfang geboten werden. Dass die archivierten Daten einen entscheidenden Nutzen haben hat sich am Flughafen in Frankfurt gezeigt. Dort bildeten die gesammelten Daten einen Teil der Grundlage für die Planung der vierten Runway.

Die allgemeine Frage nach einer integrierten Flugwettervorhersage wurde von allen Teilnehmern der Befragung gleich beantwortet. Keines der Programme, mit denen die befragten Personen arbeiten, verfügt über die Möglichkeit Daten einer Wettervorhersage anzuzeigen. Die Frage nach dem Bedarf einer Vorhersage zeigte, dass für die Hälfte der Befragten eine Wettervorhersage auch nicht von Bedeutung ist, und nicht für die Arbeit benötigt wird. Die anderen gaben an, dass sie die Daten aus TAF-Meldungen² für ihre Arbeit benötigen. Es konnte nicht ermittelt werden woher die gegensätzlichen Meinungen stammen, denn beide Parteien arbeiten unter vergleichbaren Voraussetzungen, die keine kategorisierbaren Unterschiede aufweisen. Da jedoch in einigen Fällen ein Interesse an TAF-Meldungen besteht, sollte eine Möglichkeit zur Anzeige von Daten aus der

² TAF bedeutet Terminal Area Forecast und wird in Anhang A beschrieben.

Flugwettervorhersage integriert werden.

Die Möglichkeit die Wetteranzeige zu konfigurieren ist bei der Hälfte der Befragten nicht gegeben. Die andere Hälfte gab an, dass sich die Software in manchen Bereichen konfigurieren lässt. So sind beispielsweise die Intervalle in denen das Display neue Daten anzeigt einstellbar und auch die Reihenfolge der Daten und die Darstellung der Daten selbst ist teilweise konfigurierbar. Insgesamt wurde jedoch der Konfigurierbarkeit der Software keine große Bedeutung beigemessen und in einem Falle wurde der Umfang, in dem eine Konfiguration möglich ist, sogar als zu komplex bezeichnet.

Einige Wetteranzeigen, unter anderem auch das MIDAS IV aus Abschnitt 3.2, verfügen über mehrere Farbschemata, zwischen denen zur Laufzeit umgeschaltet werden kann. In den meisten Fällen wird damit ein Nachtmodus für die Anzeige eingerichtet, der im Dunkeln eine angenehmere Ansicht bietet. Bei den Programmen, mit denen die befragten Personen arbeiten gibt es diese Möglichkeit jedoch in nur einem Fall. Der Wunsch nach einer Umschaltung des Farbschemas, speziell für einen Tag- und Nachtmodus, wurde von der Mehrzahl geäußert und sollte bei weiteren Entwicklungen berücksichtigt werden.

Die Bedienbarkeit des Wetterdisplays wurde von allen Beteiligten als gut beschrieben. Einige gaben an, dass es in dieser Hinsicht keine Mängel gäbe. Für den anderen Teil der Nutzer ist ihr Programm zwar gut zu bedienen, es sei aber nicht sehr intuitiv und eine Einarbeitungszeit sei nötig gewesen. Es gab nur einen expliziten Wunsch hinsichtlich der Bedienbarkeit. Es wurde angegeben, dass die Eingabe der METAR- und der SPECI-Meldungen verbessert werden könnte und Korrekturen jeder Zeit möglich sein sollten.

Bis auf zwei Ausnahmen gaben die Teilnehmer der Umfrage an, dass sich mit der Einführung des Systems, mit dem zur Zeit der Umfrage gearbeitet wird, ein gewisse Verbesserung ergeben hat. In einem Fall handelt es sich dabei um die Ersteinführung einer Wetteranzeige, da sich erst vor kurzem der Bedarf nach einem solchen System entwickelt hat. Das Programm hat in diesem Fall die Arbeit erheblich verbessert. Bei den anderen handelte es sich bei der Einführung der Software um eine Modernisierung, bei der ein älteres System ersetzt wurde. Hier

gab es, verglichen mit den Vorgängerprogrammen, Verbesserungen hinsichtlich der Bedienbarkeit und der Genauigkeit der Anzeige. Einer der Befragten gab an, dass die Einführung einer umfangreicheren Wetterdarstellung nötig war, damit der Flughafen die Voraussetzung, um in eine höhere Klasse aufzusteigen, erfüllt.

Die Frage nach der gesamten Zufriedenheit mit dem System ergab ein positives Ergebnis, obwohl auch hierbei die Meinungen über den Entwicklungsstand gemischt waren. Es ergaben sich drei in etwa gleichgroße Gruppen. So äußerten einige Benutzer der Displays eine völlige Zufriedenheit. Das Display mit dem sie arbeiten sei ausgereift und bedarf keiner weiteren Verbesserungen, eine Weiterentwicklung sei also unnötig. Andere Befragte befanden die Wetteranzeige für gut und gaben an, dass nur geringfügige Verbesserungen erzielt werden könnten. Dabei handelt es sich um die gezielte Verbesserung kleiner Details, die zuvor in diesem Kapitel genannt wurden.

Aber trotz der allgemeinen Zufriedenheit gab es auch ernstzunehmende und gezielte Forderung nach Verbesserungen. So wurde in einem Falle darauf hingewiesen, dass die Übermittlung der generierten Daten an das Rechenzentrum des Deutschen Wetterdienstes verbesserungswürdig sei. Dies betrifft zwar nicht das Kernthema dieser Arbeit, sollte aber bei der Entwicklung eines neuen Systems nicht unberücksichtigt bleiben. Wie in diesem Abschnitt schon angemerkt wurde, empfand ein Teilnehmer der Umfrage das Wetterdisplay als zu umfangreich und zu kompliziert für einen Regionalflughafen. Eine Vereinfachung in der Bedienung und eine übersichtlichere Gestaltung der GUI wären wünschenswert. Von einem weiteren Befragten wurden mehrere Verbesserungen gefordert. Zum einen wurde eine übersichtlichere Darstellung der Daten gefordert. Leider konnte nicht geklärt werden, welche Probleme es damit gibt, bzw. was genau verbessert werden könnte. Es wurde noch einmal explizit ein Tag- und Nachtmodus für die Anzeige gefordert. Weiter wurde auch die Integration von SPECI-Meldungen in die Anzeige gefordert. Besonders interessant war der Wunsch, dass ein Internet-Interface zu der Wetterdarstellung implementiert werden solle. Es wurden Funktionen gefor-

dert, die es ermöglichen, dass METAR-, SPECI- und SYNOP³-Meldungen erstellt und bearbeitet werden. Außerdem sollten die Daten des Wetterdisplays in einem Internet-Browser angezeigt werden können.

Für die Entwicklung von neuen Systemen zur Darstellung der Wettersituation an Flughäfen oder die Weiterentwicklung von aktuellen Programmen gibt es viel zu berücksichtigen. Eine engere Zusammenarbeit mit den Benutzern der entstehenden Software ist sehr wichtig um ein möglichst praxisnahes Wetterdisplay entwickeln zu können. Einzelne wichtige Funktionen, wie eine Farbumschaltung oder eine Flugwettervorhersage, sollten implementiert werden. Durch die Zunahme des Funktionsumfangs sollte die Bedienbarkeit nicht negativ beeinflusst werden. Insgesamt sind die Anforderungen der Nutzer ähnlich. Die Wünsche eines Nutzers betreffen häufig Funktionen, die bei anderen Wetterdisplays vorhanden sind. Zwar wurde von den Teilnehmern der Befragung die Anpassbarkeit der Anzeige als weniger wichtig bewertet, aber um ein möglichst allgemeingültiges und überall nutzbares System zu realisieren ist ein hoher Grad an Konfigurierbarkeit nötig. Diese sollte geschickt integriert werden und dem Nutzer bei der alltäglichen Arbeit verborgen bleiben, um die Komplexität des Systems zu verstecken.

³SYNOP-Meldungen sind allgemeine, nicht luftfahrtspezifische Wetterberichte.

Kapitel 5

Vorstellung der Software des Autors

Vom Autor dieser Diplomarbeit wurde, während eines Praktikums im Institut für Flugführung des DLR in Braunschweig, eine Wetterdarstellung als Bestandteil einer anderen Software, dem *T-Mon*¹ entwickelt. Der T-Mon ist die Weiterentwicklung des sogenannten Verkehrsmonitors, kurz VM, einer Software des DLR, welche die Pünktlichkeit und Auslastung eines Flughafens erfasst, darstellt und protokolliert [9].

Der Verkehrsmonitor war ein Projekt, das für die Fraport AG entwickelt wurde. Für die Weiterentwicklung des VM war eine Wetterdarstellung geplant, diese wurde jedoch aus Kostengründen nicht realisiert. Der T-Mon ist ein internes Projekt des DLR, das auf den Erfahrungen des VM basiert und die Möglichkeit einer Wetterdarstellung war hier von vornherein vorgesehen.

¹T-Mon steht für Traffic-Monitor

5.1 Beschreibung der Software

5.1.1 Der T-Mon

Wie zu Beginn dieses Kapitels erwähnt wurde, ist die Wetterdarstellung kein eigenständiges Programm, sondern in den T-Mon integriert. Der T-Mon soll unter anderem eine Vielzahl von verschiedenen Anzeigen, Tabellen und Diagrammen, die zu einem großen Teil aus der Vorgängersoftware übernommen wurden, enthalten. Die einzelnen Anzeigen werden in sogenannten *Mainpages* und *Subpages* untergebracht. Dabei handelt es sich um Steuerelemente des GUI, die aus mehreren Seiten bestehen, von denen jeweils nur eine zu sehen ist [10]. Zwischen den einzelnen Seiten kann durch kleine Reiter am oberen Rand umgeschaltet werden. Die Abbildung 5.1 zeigt eine schematische Übersicht vom Aufbau des T-Mon. Das große Feld auf der linken Seite zeigt jeweils eine der Mainpages (1). Das obere Feld auf der rechten Seite sind die Subpages(2). In dem kleinen Bereich darunter werden andere, unabhängige Informationen, wie das Datum und die Uhrzeit, angezeigt (3).

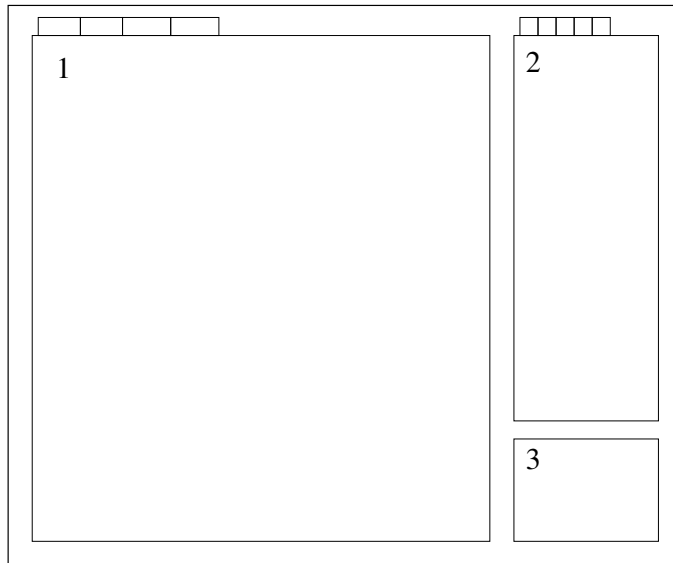


Abbildung 5.1: Schematischer Aufbau des T-Mon

5.1.2 Die Wetteranzeige (Subpages)

Die Wetteranzeige im T-Mon besteht aus einer Mainpage, die eine graphische Anzeige des Flughafens in Frankfurt enthält und aus mehreren Subpages, die Tabellen mit gemessenen Wetterdaten enthalten. Durch diese Trennung wird erreicht, dass obwohl die Mainpage etwas anderes anzeigt, in der Subpage dennoch wichtige Informationen über das Wetter angezeigt werden können. Im umgekehrten Fall können das graphische Wetterdisplay in der Mainpage und Daten, die nichts mit dem Wetter zu tun haben, in der Subpage gleichzeitig angezeigt werden.

Die Subpages der Wetterdarstellung enthalten ausschliesslich Tabellen. Auf der ersten Subpage werden die METAR- und TAF-Meldungen für den Flughafen Frankfurt angezeigt. Die einzelnen Bestandteile der METAR- und TAF-Meldungen (siehe Anhang A) werden in der Tabelle zeilenweise dargestellt. Auf weiteren Subpages werden Messdaten, welche die einzelnen Runways betreffen, angezeigt. Dabei wird jeder Runway eine eigene Tabelle zugewiesen. Es ist nicht vorgesehen, dass der Umfang der in den Subpages angezeigten Daten vom Benutzer verändert werden kann.

5.1.3 Die Wetteranzeige (Mainpage)

Die Mainpage der Wetterdarstellung besteht aus einer großen graphischen Anzeige, die eine topologische Übersicht des Flughafens in Frankfurt enthält. Hierin sind sehr viele verschiedene Informationen nicht durch Werte dargestellt, sondern durch Symbole. Damit soll ermöglicht werden, dass durch einen kurzen Blick die Wettersituation erfasst werden kann und gegebenenfalls die Herkunft von Warnungen schneller erkannt werden kann. Das Farbschema der Anzeige kann zur Laufzeit vom Benutzer umgeschaltet werden.

Wie in der Abbildung 5.2 zu erkennen ist, befinden sich Pfeile an den Runways. Diese zeigen die Windrichtungen und -geschwindigkeiten, die an den einzelnen Runways gemessen wurden, an. Dadurch können, von der allgemein herrschenden Windrichtung abweichende, Windböen erkannt werden. Die Form und Funktiona-

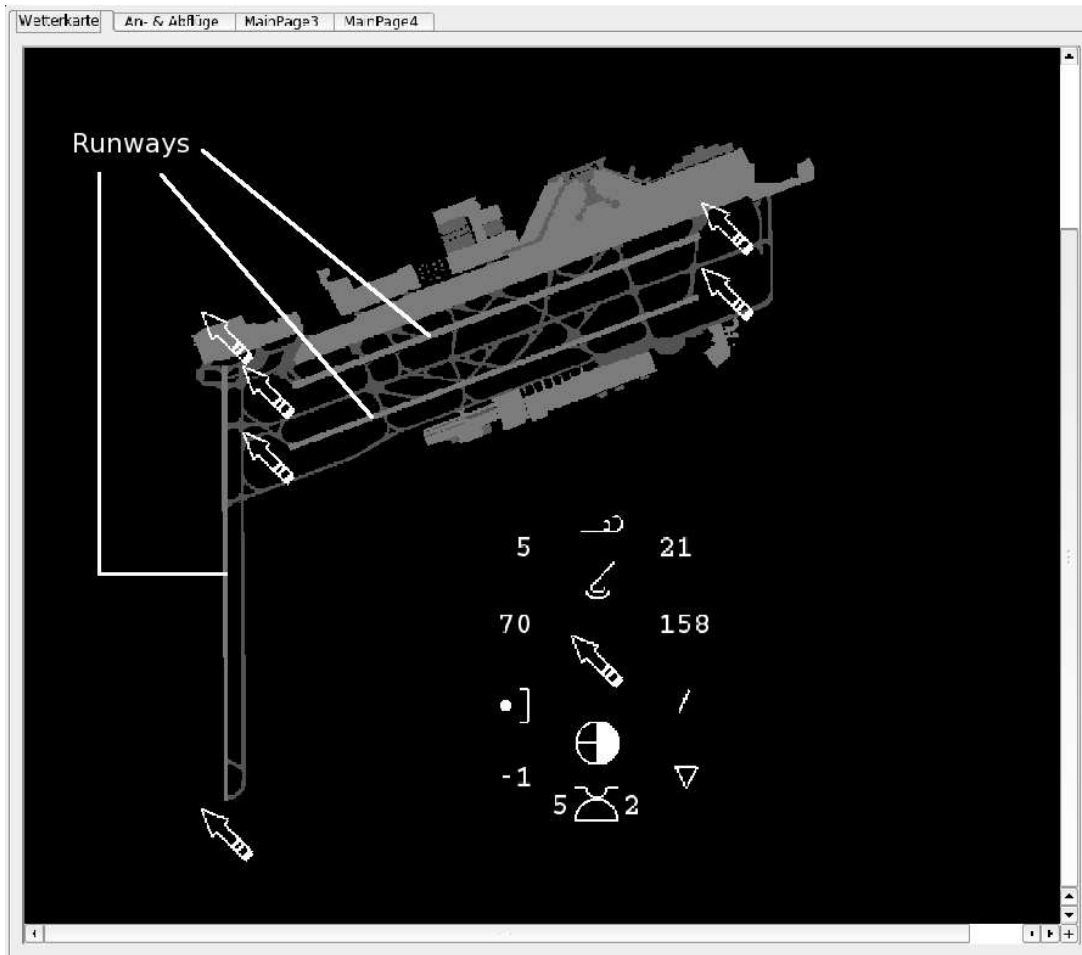


Abbildung 5.2: Graphische Wetterdarstellung im T-Mon

lität der Windpfeile wurde beim Entwurf der Software entwickelt, orientiert sich aber an den Windpfeilen, die auf Bodenwetterkarten eingetragen werden. Mehr darüber in [8]

Diese Mainpage dient auch als Zustands- und Warnungsanzeige. So wird die Sperrung einer Runway, z.B. durch Vereisung, dargestellt, indem sie von einem großen, roten Kreuz bedeckt wird. Als Warnung vor gefährlichen Seitenwinden können, z.B. durch eine rote Einfärbung, die Windpfeile auffällig gekennzeichnet werden.

Im unteren Bereich befindet sich eine symbolische Anzeige des aktuellen Wet-

ters am Flughafen. Der Aufbau der Anzeige wurde dem sogenannten Stationsmodell nachempfunden. Diese Anzeige ist zur Laufzeit ein- und ausblendbar. Sie beinhaltet im wesentlichen die gleichen Informationen wie die METAR-Meldung in der ersten Subpage, jedoch größtenteils durch Symbole dargestellt. In Abbildung 5.3 wird der Inhalt der Anzeige näher erklärt. Auf eine genauere Beschreibung der einzelnen Symbole wird an dieser Stelle verzichtet. Mehr über das Stationsmodell und die darin enthaltenen Symbole ist in [8] zu finden.

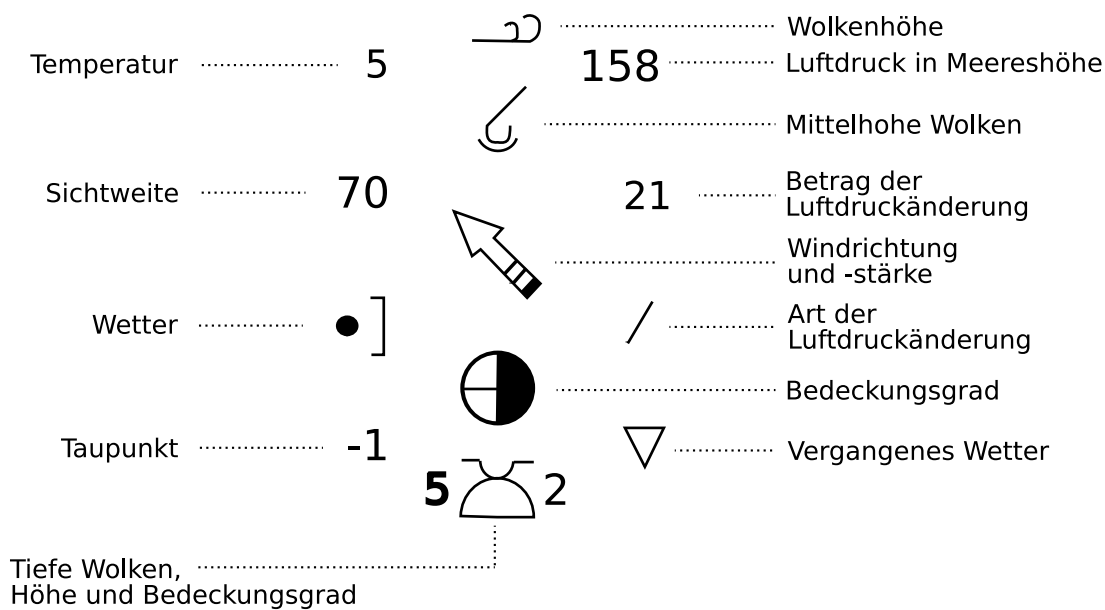


Abbildung 5.3: Erklärung des Stationsmodells

5.2 Softwaretechnik in der Wetteranzeige

Der T-Mon wurde in der Sprache C++ mit der Bibliothek *Qt* entwickelt [10]. Daher wurde auch die Wetterdarstellung mit Hilfe von Qt implementiert. In diesem Abschnitt wird der Aufbau des Wetterdisplays aus der Sicht der Informatik beschrieben. Hier wird nur der grobe Aufbau der Wetteranzeige aufgezeigt, eine vollständige Beschreibung ist in [11] zu finden.

5.2.1 Graphische Anzeige

Das Display selbst besteht aus von *QCanvasView* und *QCanvas* abgeleiteten Klassen. Ein Canvas-Steuerelement ist eine Oberfläche, die spezielle Methoden zum Zeichnen von Grafikprimitiven und zum Umgang mit Eingaben der Maus bietet. Das *QCanvasView* wird benötigt um das *QCanvas* anzuzeigen und wurde um Methoden erweitert, die eine Umschaltung des Farbschemas und das Setzen von Werten für das Wetterdisplay ermöglichen.

Auf dem *QCanvas* wird zuerst der Flughafen gezeichnet. Dazu werden die topologischen Daten des Flughafens aus Dateien gelesen und aus den Daten werden Listen von *QCanvasPolygon*-Objekten erzeugt. Je nach Art des zu zeichnenden Objekts (Runway, Taxiway, Hangar, etc . . .) bekommen die Polygone eine Farbe zugewiesen und werden auf dem Canvas gezeichnet. Jedes der Polygone wird in dem sogenannten *Colormanager* registriert. Der *Colormanager* ist eine Klasse, die sich um die Zuweisung von Farben beim Umschalten des Farbschemas zur Laufzeit kümmert. Die Farben sind in der Konfigurationsdatei des T-Mon festgelegt und werden im Konstruktor des *Colormanager*s ausgelesen.

Nach dem Flughafen werden die Windpfeile und das Stationenmodell gezeichnet. Die Positionen der Windpfeile und des Stationenmodells sind in der Konfigurationsdatei des T-Mon gespeichert und werden von dort gelesen. Beide sind von der Klasse *QCanvasPolygonalItem* abgeleitet, welche die Basisklasse für alle Grafikprimitiven darstellt. Die Unterklassen wurden um Methoden erweitert, die es ermöglichen die Windstärke und -richtung der Pfeile, bzw. die einzelnen Werte aus METAR-Meldungen im Stationenmodell, zu setzen. Danach werden auch die Windpfeile und das Stationenmodell gezeichnet und im *Colormanager* registriert und werden daher bei Umschaltung des Farbschemas neu gefärbt. Die Beziehungen der einzelnen Klassen des Displays untereinander wird in Abbildung 5.4 mit Hilfe eines einfachen UML-Diagramms verdeutlicht.

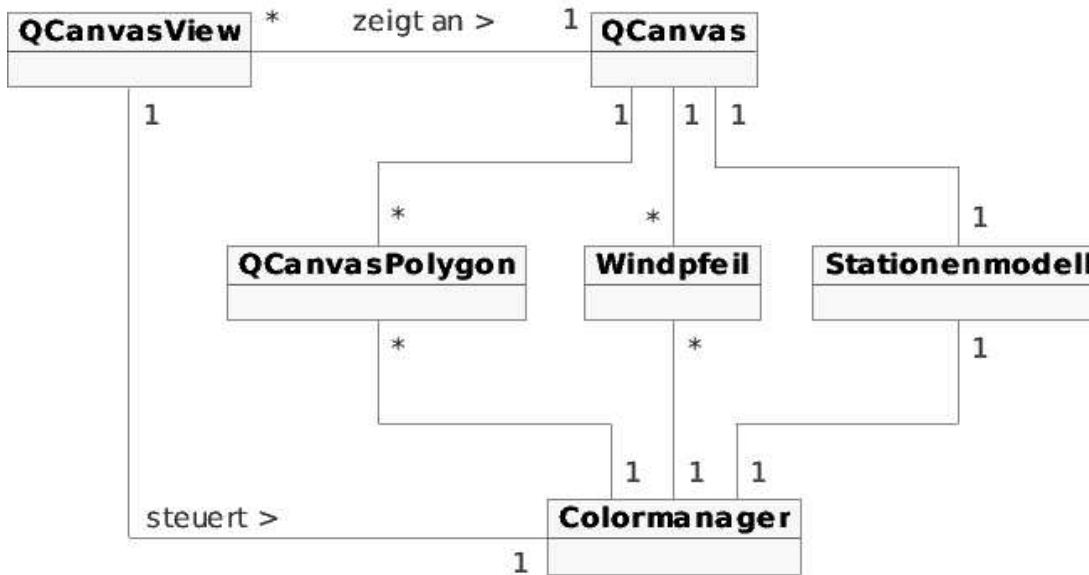


Abbildung 5.4: UML-Diagramm der Klassen des Wetterdisplays

5.2.2 Tabellen

Für die Tabellen in den Subpages, mit den Daten aus METAR- und TAF-Meldungen, wurde die Klasse *weatherTable* von *QTable* abgeleitet. Diese neue Grundklasse beinhaltet nur die Methodenrumpfe zum Aktualisieren der Wettermeldungen und wird nicht direkt verwendet.

Die Tabellen, die in den Subpages platziert werden, sind jeweils wieder von der Klasse *weatherTable* abgeleitet worden. Die einzelnen Zeilen der Tabellen wurden an die speziellen Formen von METAR- und TAF-Meldungen und die Meldungen für die einzelnen Runways angepasst. Die METAR- und TAF-Meldungen für den Flughafen werden zusammen in einer Subpage dargestellt. Für die umfangreicheren Datensätze der einzelnen Runways steht jeweils eine einzelne Subpage zur Verfügung.

5.2.3 Verarbeitung von Wetterdaten

Der T-Mon wird nicht direkt aus einer Datenbank mit Daten versorgt. Er bezieht seine Daten aus einer laufend aktualisierten ACSII-Datei, die von einer Schnitt-

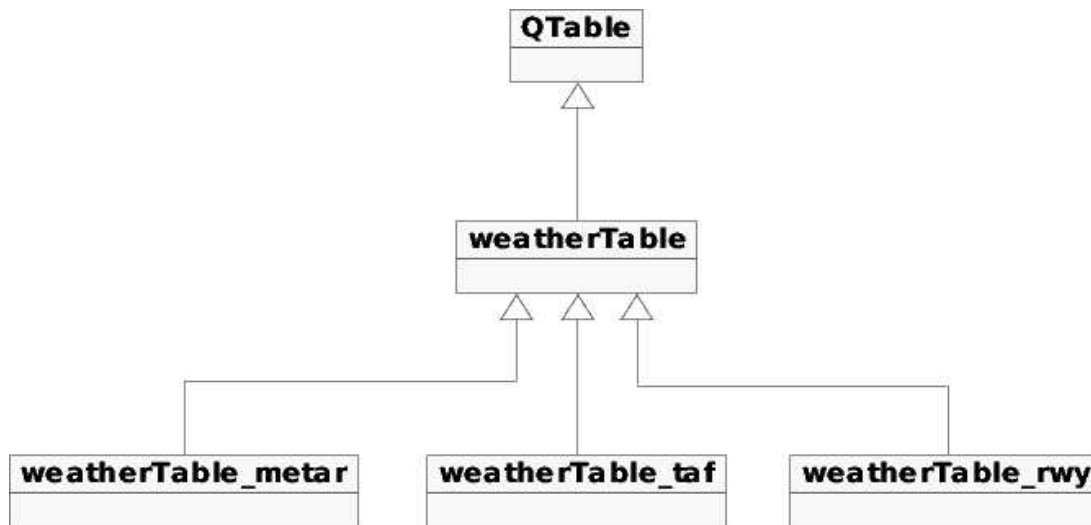


Abbildung 5.5: UML-Diagramm mit Vererbungstruktur der Tabellenklassen

stellensoftware generiert wird. Beim Eintreffen neuer Datensätze werden diese an das Ende der Datei geschrieben.

Um die Steuerelemente der Wetteranzeige mit Daten zu versorgen wird ein separater Thread gestartet, der die ASCII-Datei mit den gemessenen Daten ausliest. Die Daten werden aus der Threadklasse an das `QCanvasView` und die verschiedenen Unterklassen von `weatherTable` übergeben. Bei der nächsten Aktualisierung der Anzeige werden die neuen Daten angezeigt.

Kapitel 6

Schlusswort

Das Wetter hat einen großen Einfluss auf den Flugverkehr und den Betrieb von Flughäfen und -plätzen. Die Bedeutung der Wettereinflüssen für die Sicherheit und die Pünktlichkeit steigt zusammen mit dem Verkehrsaufkommen und wird auch in Zukunft weiter an Bedeutung gewinnen. Nachdem diese Einflüsse in Deutschland und Europa jahrelang weitestgehend unberücksichtigt blieben, begann sich in den letzten Jahren langsam ein Bewusstsein für den Umgang mit dem Wetter zu entwickeln. Durch das späte Interesse ist die Forschung auf diesem Gebiet nicht so weit fortgeschritten wie z.B. in den Vereinigten Staaten. Die durch das Wetter hervorgerufenen Verspätungen verursachen Kosten, die eine weitere Forschung auf diesem Gebiet nötig machen.

Zum effizienten und sicheren Betrieb eines Flughafens gehört eine genaue Kenntnis der Wettersituation direkt am Flughafen und in dem Zuständigkeitsbereich der Lotsen. Um einen möglichst guten Überblick der Wetterereignisse zu ermöglichen, wurden bereits viele Hard- und Softwaresysteme zur Anzeige der Wettersituation entwickelt. Bei der Betrachtung der verschiedenen Programme in Kapitel 3 hat sich deutlich gezeigt, wie unterschiedlich hier die einzelnen Lösungen sind.

Dass es aber noch keine ideale Lösung zur Darstellung der Wettersituation gibt wurde durch die Untersuchung in Kapitel 4 gezeigt. Die Betrachtungen in der Untersuchung bezogen sich nur auf regionale und nicht auf internationale Flughäfen.

Dort sind jedoch ähnliche Ergebnisse zu erwarten. Obwohl insgesamt schon ein beachtlicher Stand bei der Entwicklung von Wetterdisplays erreicht wurde, gibt es noch viele kleine Details, die in künftigen Entwicklungen zu berücksichtigen sind. Insgesamt ist eine engere Zusammenarbeit mit den Benutzern der Wetterdisplays, überwiegend Lasten, nötig, um weitere Verbesserungen zu erzielen. Die zum Teil individuellen Anforderungen machen eine umfangreiche, aber simple, Anpassungsfähigkeit der Software an den jeweiligen Flughafen unverzichtbar. So sollte es beispielsweise möglich sein zur Laufzeit das Farbschema umzuschalten oder bei Bedarf TAF-Meldungen in das Display zu integrieren. Der Umfang der angezeigten Daten sollte an die Größe des Flughafens angepasst werden können und unnötige Informationen ausgeblendet werden.

Die Untersuchung der Anforderungen an ein Wetterdisplay hat deutlich gezeigt, dass die vom Autor entwickelte Wetterdarstellung einige Vorteile gegenüber anderen Lösungen hat, aber auch Schwächen aufweist. So ist zum Beispiel die graphische Darstellung des Flughafens zu umfangreich. Die Darstellung des Flughafens beinhaltet zu viele Details, eine symbolische Darstellung der drei Runways, wie zum Beispiel in Abbildung 2.1 auf Seite 7, wäre ausreichend gewesen. Die Windpfeile, welche die Windstärke und -richtung an den einzelnen Runways anzeigen, sind nicht nötig. Der Wind am Flugplatz wäre ausreichend. Die Darstellung des Wetters mit Hilfe des Stationenmodells ist zu komplex und es hat sich herausgestellt, dass das Stationenmodell als veraltet zu betrachten ist und so nicht mehr verwendet werden sollte. Die tabellarische Darstellung der METAR-Meldung ist auch nicht optimal. Das Programm beinhaltet aber auch Funktionen, die in den anderen Wetterdisplays nicht enthalten sind, von den Benutzern aber gefordert werden. Dazu gehört unter anderem, dass die Anzeige einen Tag- und Nachtmodus beinhaltet und die Möglichkeit Wetterprognosen anzuzeigen.

Anhang A

Wettermeldungen

An den vom DWD betriebenen und auch an vielen privaten Wetterstationen werden die gemessenen Daten über das Wetter nicht nur lokal ausgewertet, sondern auch als Meldungen aufbereitet und gemeldet. Dabei handelt es sich um kurze und verschlüsselte Nachrichten mit einer gewissen Gültigkeit. Diese Meldungen werden gesammelt und auf den Servern des DWD angeboten und verbreitet. Dabei gibt es verschiedene Meldungstypen, die von der Wettersituation über Vorhersagen bis hin zu Warnmeldungen reichen.

Diese Meldungen sind ein unverzichtbarer Teil bei der Übermittlung der Wettersituation. In vielen Programmen werden neben den besonders hervorgehobenen Daten auch immer diese Textmeldungen angezeigt. Daher werden die wichtigsten Meldungstypen in diesem Kapitel kurz vorgestellt. Die Meldungstypen METAR und TAF werden ausführlich beschrieben, da sie für Flughäfen besonders wichtig sind. Die anderen Meldungsarten werden nur kurz genannt. Sie sind für die Planung von Flügen aus Pilotensicht von Interesse und nicht für den Betrieb eines Flughafens. Es gibt noch mehr Meldungstypen, die aber seltener und daher für diese Arbeit nicht von Bedeutung sind.

A.1 METAR

Die Abkürzung METAR steht für *Meteorological Aerodrome Routine Weather Report*. Die METAR-Meldung gibt Auskunft über die aktuelle Wettersituation an einem Flughafen. Die dort gemessenen Werte werden periodisch an die zentralen Server des DWD gemeldet und sind von dort aus für jedermann verfügbar. Die METAR-Meldungen werden nach den dazugehörigen Ortskennungen der Flugplätze, an denen sie gültig sind, sortiert. Bei der Ortskennung handelt es sich um einen Code, der aus vier Großbuchstaben besteht. Im deutschen Raum beginnen die Codes aller Flugplätze mit den Buchstaben ED (für Europa und Deutschland). Die nächsten zwei Buchstaben wurden früher nach einem System verteilt, heute jedoch recht willkürlich. Nachfolgend steht eine Beispielmeldung des Flughafens in Frankfurt. Diese Meldung wird im Anschluss entschlüsselt. Für nähere Informationen über die METAR-Meldungen sei auf [7] verwiesen.

Jede METAR-Meldung wird in Blöcke geteilt. Dadurch ergibt sich der Aufbau wie im folgenden Beispiel:

```
METAR EDDF 061150Z 05020KT 4000 -DZ BKN008 08/06 Q1030 RERA NOSIG
```

Zu Beginn steht ein Bezeichner für den Meldungstyp; METAR in diesem Fall. Begonnen wird die eigentliche Meldung immer mit dem Kurzzeichen des dazugehörigen Flughafens. In diesem Falle ist das *EDDF* und entspricht dem Frankfurter Flughafen. Der Block *061150Z* gibt das Datum und die Uhrzeit, zu der die Meldung generiert wurde, an. Die ersten zwei Ziffern benennen den Tag des Monats, also den 06. Die nächsten vier Ziffern geben die Uhrzeit an, in diesem Beispiel 11:50 Uhr. Der dritte Block *05020KT* gibt die Windrichtung und -geschwindigkeit, sowie die Einheit der Windgeschwindigkeit an. Die ersten drei Ziffern benennen die Windrichtung und die letzten beiden die Windgeschwindigkeit. *KT* steht für die Einheit Knoten. Also weht der Wind in Richtung 50 Grad mit 20 Knoten. Die nächsten Ziffern geben die Sichtweite an. In diesem Falle entspricht die *4000* einer Sicht von 4000 Metern. Der kurze Block *-DZ* gibt ganz

allgemein das Wetter vor Ort an. -DZ bedeutet leichten Sprühregen. *BKN008* gibt die Bewölkung über dem Flugplatz an. Dabei stehen die 3 Buchstaben BKN für eine Bedeckung von $5/8 - 7/8$ des Himmels. Die Ziffern 008 sagen aus, dass die Wolkenuntergrenze bei 800 Fuß über dem Boden liegt. Die zwei getrennten Werte *08/06* geben jeweils die Temperatur der Luft und den Taupunkt an. Die Werte entsprechen den gemessenen Grad Celsius. *Q1030* bedeutet einen Luftdruck (QNH) von 1030 hPa. Als zusätzliche Informationen wird vergangener (RE) Regen (RA) durch den Block *RERA* gemeldet. Den Abschluss bildet die Angabe über den Trend des Wetters, der mit *NOSIG* sagt, dass keine signifikanten Änderungen erwartet werden.

A.2 TAF

Die Abkürzung TAF bedeutet *Terminal Aera Forecast*. Wie dem Namen zu entnehmen ist handelt es sich hierbei um eine Vorhersage. Die TAF-Meldung ist im Aufbau der METAR-Meldung sehr ähnlich. Die Hauptunterschiede liegen in der Angabe einer Gültigkeitsdauer und der Angabe einer Änderungsgruppe. Bei einer Änderungsgruppe handelt es sich um die Wettererscheinungen für die Änderungen zu erwarten sind. Auch hier soll eine fiktive Beispielmeldung den Aufbau verdeutlichen:

```
TAF EDDF 151500Z 151601 27005KT 1500 BKN005 BECMG1719 0300 FZFG VV001
```

Die Ähnlichkeit zu einer METAR fällt sofort auf. Wie die METAR beginnt auch die TAF mit dem Meldungstyp (*TAF*) und dem Flughafen-Kurzzeichen *EDDF*, was dem Flughafen in Frankfurt entspricht. Die Ausgabezeit wird mit 15 Uhr am 15. Tag des Monats angegeben (*151500Z*). Jetzt taucht der erste Unterschied auf. Bevor die Angaben über den Wind folgen, wird zuerst die Gültigkeitsdauer der Meldung bekanntgegeben. In diesem Beispiel endet die Gültigkeit der TAF um 16:01 Uhr am 15. Tag des Monats. *27005KT* und *1500* geben eine momentane Windgeschwindigkeit und -richtung von 5 Knoten und 270 Grad und

eine Sichtweite von 1500 Metern an. Die Wolkenuntergrenze liegt bei 500 Fuß und der Himmel ist zu $5/8 - 7/8$ bedeckt (*BKN005*).

Der Rest der Meldung enthält die eigentliche Aussage der TAF. *BECMG1719* gibt an, dass sich das Wetter ändern wird. Der Beginn und das Ende des Änderungszeitraumes liegt zwischen 17 und 19 Uhr des Tages an dem die Meldung ausgegeben wurde. Die *0300* bedeutet, dass eine Bodensicht von ca. 300m erwartet wird. Die geringe Sichtweite wird mit der Angabe über das Wetter selbst verständlich, denn es werden Frost (*FZ*) und Nebel (*FG*) erwartet. Eine vertikale Sicht von 100 Fuß sagt der Block *VV001* voraus.

A.3 Andere Meldungstypen

SPECI Der Name SPECI ist eine etwas ungenaue Abkürzung für *Aviation Selected Special Weather Report*. Das ist eine Sonderwettermeldung für die Luftfahrt. Sie wird kurzfristig und unplanmäßig herausgegeben, wenn plötzlich signifikante Änderungen des Wetters auftreten. Der Aufbau dieser Meldung ist dem der METAR sehr ähnlich und beginnt daher mit dem Meldungstyp SPECI.

SIGMET Der Name SIGMET bedeutet *Significant Meteorological advisory* und beinhaltet Informationen über extreme und gefährliche Wettererscheinungen, welche entlang der Flugstrecke auftreten und Einfluss auf die Sicherheit von Flügen haben können.

AIRMET Der Name AIRMET bedeutet *Airman's Meteorological advisory*. Wie bei SIGMET handelt es sich um Informationen die das Wetter auf der Flugroute betreffen. AIRMETs beziehen sich jedoch nur auf niedrige Flughöhen und sind vor allem für kleinere Flugzeuge von Bedeutung[21].

GAFOR Bei GAFOR, was *General Aviation Forecast* bedeutet, handelt es sich um Flugwettervorhersagen für die allgemeine Luftfahrt. Die Vorhersage betrifft nur die Sicht und eine Wolkenuntergrenze mit $4/8$ Bedeckungsgrad

oder auch mehr. Ihre Gültigkeit bezieht sich auf das sogenannte GAFOR-Gebiet [8].

SYNOP SYNOP-Meldungen sind allgemeine Wetterberichten. Sie beziehen sich nicht speziell auf die Luftfahrt, sind aber für Flughafenbetreiber und Flugsicherungspersonal nicht uninteressant.

Anhang B

Fragebogen

Der in diesem Abschnitt gezeigte Fragebogen wurde für die Befragung, die die Grundlage für die Untersuchung in Kapitel 4 bildet, entworfen. Er wurde als MS-Word-Dokument per E-Mail und per Fax an die teilnehmenden Personen versendet.

Fragebogen über Softwarelösungen zur Erfassung der Wettersituation

Bitte beantworten Sie die Fragen gewissenhaft und in Ruhe. Der Bogen sollte innerhalb von 10 Minuten ausgefüllt werden können.

Die hier von Ihnen gemachten Angaben werden ausschliesslich in meiner Diplomarbeit verwendet. Ihr Name und die Kontaktinformationen werden in der Arbeit nicht veröffentlicht, sie dienen nur für eventuelle Rückfragen von mir. Wenn Sie Bedenken haben, dann lassen Sie die entsprechenden Felder unausgefüllt.

Die vorgegebenen Antworten sind nur Vorschläge, um das Ausfüllen des Fragebogens zu beschleunigen. Wenn Sie mit den vorgegebenen Antworten nicht zufrieden sind, antworten Sie bitte mit einem kurzen Text im unteren Teil des Antwortfeldes. Wenn Sie eine vorgegebene Antwort *ankreuzen* wollen, so ersetzen Sie bitte das 0 durch ein X. Können oder wollen Sie eine Frage nicht beantworten, so vermerken Sie dieses und wenn möglich auch den Grund dafür im Antwortfeld.

Worum geht es genau? Es geht um eine Software, die Ihnen Daten über das

Wetter an dem Flughafen, an dem Sie arbeiten, anzeigt. Dabei ist es gleichgültig was für ein System das ist. Ob Sie eine unverarbeitete METAR-Meldung bekommen oder eine aufwendige graphische Darstellung. Das Ziel dieser Befragung ist es, herauszufinden in wie weit die Anforderungen an eine Wetterdarstellung von den im Einsatz befindlichen Produkten erfüllt werden.

Name: Telefon:
 E-Mail: Firma:
 Arbeitsplatz: Ort:

1. Gibt es an Ihrem Arbeitsplatz eine Software um die Wettersituation darzustellen?
<input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Nein <input type="radio"/> Noch nicht <input type="radio"/> Nicht mehr
2. Aus welchem Grund gibt es an Ihrem Arbeitsplatz kein solches System? (Bitte nur beantworten, wenn Sie Frage 1 verneint haben)
<input type="radio"/> Aus Kostengründen <input type="radio"/> Weil die Funtionalität nicht benötigt wird <input type="radio"/> Weil noch niemand daran gedacht hat <input type="radio"/> Weil die Informationen auf anderem Wege beschafft werden <input type="radio"/> Weiters:
3. Woher stammt die Software an Ihrem Arbeitsplatz?
<input type="radio"/> Eigene Entwicklung <input type="radio"/> Kommerzielle Software <input type="radio"/> OpenSource Software <input type="radio"/> Service im Internet <input type="radio"/> Teilfunktion einer anderen Software <input type="radio"/> Anderes oder Name der Software und des Herstellers:

4. In welcher Form werden Ihnen die Wetterdaten präsentiert?	
<input type="radio"/> Als Text (ausführlich)	
<input type="radio"/> Als Text (Telegrammstil, Einzeiler)	
<input type="radio"/> Als Tabelle	
<input type="radio"/> Als Grafik	
<input type="radio"/> Anderes:	
5. In welcher Form sind Ihnen die Daten am nützlichsten?	
<input type="radio"/> Als Text (ausführlich)	
<input type="radio"/> Als Text (Telegrammstil, Einzeiler)	
<input type="radio"/> Als Tabelle	
<input type="radio"/> Als Grafik	
<input type="radio"/> Anderes:	
6. Welche Daten werden angezeigt?	
<input type="radio"/> Temperatur	<input type="radio"/> Taupunkt
<input type="radio"/> Feuchtigkeit	<input type="radio"/> Niederschlag
<input type="radio"/> Bedeckungsgrad	<input type="radio"/> Wolkenhöhe
<input type="radio"/> Windrichtung	<input type="radio"/> Windstärke
<input type="radio"/> Wind in Bodennähe	<input type="radio"/> Luftdruck
<input type="radio"/> Sichtweite am Boden	<input type="radio"/> Sichtweite des Piloten
<input type="radio"/> Das Wetter an anderen Flughäfen	
<input type="radio"/> Anderes:	

7. Welche Daten benötigen Sie?	
<input type="checkbox"/> Temperatur	<input type="checkbox"/> Taupunkt
<input type="checkbox"/> Feuchtigkeit	<input type="checkbox"/> Niederschlag
<input type="checkbox"/> Bedeckungsgrad	<input type="checkbox"/> Wolkenhöhe
<input type="checkbox"/> Windrichtung	<input type="checkbox"/> Windstärke
<input type="checkbox"/> Wind in Bodennähe	<input type="checkbox"/> Luftdruck
<input type="checkbox"/> Sichtweite am Boden	<input type="checkbox"/> Sichtweite des Piloten
<input type="checkbox"/> Das Wetter an anderen Flughäfen	
<input type="checkbox"/> Anderes:	
8. Woher stammen die Daten?	
<input type="checkbox"/> Eigene Sensoren	
<input type="checkbox"/> Anderes:	
9. Wie oft werden die Daten aktualisiert?	
Zeitraum:	
10. Werden die gesammelten Wetterdaten von der Software archiviert?	
<input type="checkbox"/> Daten werden nicht archiviert	
<input type="checkbox"/> Archivierung wäre aber sinnvoll	
<input type="checkbox"/> Daten werden archiviert, aber nicht weiter genutzt	
<input type="checkbox"/> Daten werden archiviert, Zeitraum:	
11. Verfügt das Programm über eine Wettervorhersage?	
<input type="checkbox"/> Keine Wettervorhersage	
<input type="checkbox"/> Wettervorhersage wäre sinnvoll	
<input type="checkbox"/> Ja, die Wettervorhersage reicht in die Zukunft	

12. Benötigen Sie eine Vorhersage?	
<input type="radio"/> Nein	<input type="radio"/> Ja, folgende Daten:
<input type="radio"/> Temperatur	<input type="radio"/> Taupunkt
<input type="radio"/> Feuchtigkeit	<input type="radio"/> Niederschlag
<input type="radio"/> Bedeckungsgrad	<input type="radio"/> Wolkenhöhe
<input type="radio"/> Windrichtung	<input type="radio"/> Windstärke
<input type="radio"/> Wind in Bodennähe	<input type="radio"/> Luftdruck
<input type="radio"/> Sichtweite am Boden	<input type="radio"/> Sichtweite des Piloten
<input type="radio"/> Das Wetter an anderen Flughäfen	
<input type="radio"/> Anderes:	
13. Für welchen Bereich ist die Wetterdarstellung gültig?	
<input type="radio"/> Den Flughafen	
<input type="radio"/> Für einen Radius von ca.	
<input type="radio"/> Ein grösserer Bereich wäre besser	
<input type="radio"/> Ein kleinerer Bereich wäre besser	
14. Ist das Programm konfigurierbar?	
<input type="radio"/> Nein, nicht konfigurierbar	
<input type="radio"/> Ja, folgendes ist konfigurierbar:	
<input type="radio"/> Die angezeigten Daten selbst	
<input type="radio"/> Die Reihenfolge der Daten	
<input type="radio"/> Die Farbe der Grafiken	
<input type="radio"/> Die Aktualisierungsintervalls	
<input type="radio"/> Weiteres:	
15. Verfügt das Programm über verschiedene Farb-Schemata?	
<input type="radio"/> Nein	
<input type="radio"/> Ja, voreingestellte	
<input type="radio"/> Ja, frei wählbar	
<input type="radio"/> Im laufenden Betrieb umschaltbar	

16. Ist (oder wäre) eine Umschaltung des Farb-Schemas sinnvoll?
<input type="radio"/> Nein <input type="radio"/> Ja <input type="radio"/> Gründe, die für Farb-Schemata sprechen:
17. Wer arbeitet mit dem System?
<input type="radio"/> Piloten <input type="radio"/> Lotsen <input type="radio"/> Fluglinien <input type="radio"/> Flughafenbetreiber <input type="radio"/> Andere:
18. Wie bewerten Sie die Bedienbarkeit des Systems?
<input type="radio"/> Ohne Mängel, sehr intuitiv <input type="radio"/> Ohne Mängel, aber nicht intuitiv <input type="radio"/> Folgendes könnte verbessert werden:
19. Wird das System wirklich genutzt?
<input type="radio"/> Ja, zu Testzwecken <input type="radio"/> Ja, im operationellen Betrieb <input type="radio"/> Nein
20. Hat die Einführung des Programmes eine Verbesserung erzielt?
<input type="radio"/> Nein, keiner Verbesserung <input type="radio"/> Ja, folgendes hat sich verbessert:

21. Wie schätzen Sie den Entwicklungsstand des Systems ein?

- Das System ist völlig ausreichend, eine Weiterentwicklung ist nicht nötig
- Das System ist schon ganz gut, aber Details könnten noch verbessert werden
- Das System ist schon ganz gut, aber es fehlen wichtige Daten / Funktionen
- Folgendes muss in künftigen Entwicklungen unbedingt berücksichtigt werden:

22. Welche weiteren Ansprüche haben Sie an ein System zur Darstellung des Wettersituation?

Abkürzungsverzeichnis

AIRMET	.....	Airman´s Meteorological advisory
ASCII	.....	American Standard Code for Information Interchange
ASDUV	.....	Automatisches System zur Datenerfassung und -verarbeitung
AWOS	.....	Automated Weather Observing System
CFMU	.....	Central Flow Management Unit
BLIDS	.....	Blitz-Informationsdienst von Siemens
BMV	.....	Bundesministerium für Verkehr
DLR	.....	Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.
DWD	.....	Deutscher Wetterdienst
FAA	.....	Federal Aviation Administration
GAFOR	.....	General Aviation Forecast
GUI	.....	Graphical User Interface
ICAO	.....	International Civil Aviation Organisation
KT	.....	Knoten
METAR	.....	Meteorological Aerodrome Routine Weather Report
MIT	.....	Massachusetts Institute of Technology
ODS	.....	Operational Display Systems
SIGMET	.....	Significant Meteorological advisory
SPECI	.....	Aviation Selected Special Weather Report
T-Mon	.....	Traffic-Monitor
TAF	.....	Terminal Aera Forecast
VM	.....	Verkehrs Monitor

Literaturverzeichnis

- [1] Pressemitteilung der Fraport AG: *Winterdienst der Fraport AG tritt mit noch mehr Technik gegen Schnee und Eis an*, Frankfurt (2002).
- [2] Deutscher Wetterdienst: *Durchführung meteorologischer Dienste an Verkehrsflughäfen und Verkehrslandeplätzen für Regionalluftverkehr mit Flugplatzkontrolldienst sowie an unkontrollierten Flugplätzen mit Luftraum "F"*, Hamburg (1997).
- [3] Hauf, Thomas: *Zum Wettereinfluß auf den Flugverkehr*, Hannover (2005).
- [4] Hauf, Leykauf, Schumann: *Luftverkehr und Wetter, Statuspapier 2004*, Hannover (2004).
- [5] Evans, J.E.: *Safely Reducing Delays Due to Adverse Terminal Weather*. International Workshop on Modelling and Simulation in Air Traffic Management, Lexington (1995).
- [6] Spehr, Ulrike: *Analyse des Wettereinflusses auf die Pünktlichkeit im Flugverkehr*, Hannover (2003).
- [7] Deutscher Wetterdienst: *METAR/TAF Wetterschlüssel für die Luftfahrt*, Offenbach (2004).
- [8] Fliegertaschenkalender 1998, Bergisch Gladbach (1998).
- [9] Spies, Gunnar: *Handzettel zum Verkehrsmonitor*, Braunschweig (2004).

- [10] Lasner, Sascha: *Untersuchung der Eignung der Bibliothek Qt zur Entwicklung eines GUI*, Salzgitter (2004).
- [11] Lasner, Sascha: *Klassen-Dokumentation der Wetteranzeige des T-Mon*, Braunschweig (2004).
- [12] Deutscher Wetterdienst: *Handbuch pc_met für Windows*, (2004).
- [13] Vaisala: *MIDAS IV Displays Germany*, Hamburg (2005).
- [14] Siemens AG: *BLIDS Blitz-Informationsdienst von Siemens*, (2002).

Internetseiten:

- [15] Barco
<http://www.barco.com/>
- [16] Deutscher Wetterdienst
<http://www.dwd.de/>
- [17] Internetseite der Wetterstation des Instituts für die Physik der Atmosphäre des DLR in Oberpfaffenhofen
<http://www.pa.op.dlr.de/wetterstation/info.html>
- [18] Federal Aviation Administration
<http://www.faa.gov/>
- [19] Fraport AG
<http://www.fraport.de/>
- [20] Massachusetts Institute of Technology
<http://www.mit.edu/>
- [21] Regional Weather Information Center
<http://www.rwic.und.edu/>

[22] Schwarzvogel - lcdmetar

<http://www.schwarzvogel.de/software-lcdmetar.shtml>

[23] Thies

<http://www.thiesclima.com/>

[24] Vaisala

<http://www.vaisala.com/>