

Ein wissensbasiertes System zur Unterstützung des Benutzers bei der ergonomischen Farbzusammenstellung für Dialogmasken

Peter Heintzen, Volker Kruschinski, Helmut Balzert
Lehrstuhl für Software-Technik, Ruhr-Universität Bochum

Zusammenfassung

Schon für viele Bereiche der Gestaltung von Mensch-Computer-Dialogen, wie Auswahl und Anordnung von Dialogelementen, wurden Style-Guides geschaffen, die ein Regelwerk für die ergonomische Maskenerstellung darstellen. Die Aussagen der Style-Guides über die farbliche Gestaltung von Dialogmasken sind jedoch sehr allgemein. Die vorliegende Arbeit befaßt sich mit der Schaffung eines Regelwerkes zur ergonomischen Farbgestaltung beim Entwurf von Dialogmasken. Das Regelwerk wird dazu benutzt, den Benutzer bei der Zusammenstellung von Dialogelement-Farben durch Farbvorschläge zu unterstützen. Die Regeln werten Farbcharakteristika (Farbfamilie, Helligkeit, Sättigung) und Farb-Beziehungen (Kontrast-, Äquivalenz- und Synonymfarbe) zur Bestimmung der Vorschläge aus. Die Basis aller Regeln bilden das biologische und psychologische Wissen über das Farbempfinden des Menschen. Das entstandene wissensbasierte System ist eine Teilkomponente des JANUS-Systems, das am Lehrstuhl für Software-Technik an der Ruhr-Universität Bochum entwickelt wird.

1 Einführung

Schon lange sind die biologischen Grundlagen für das Farb- und Helligkeitsempfinden des menschlichen Auges bekannt. Trotzdem fehlen bisher Systeme, die den Ergonomen bei der Zuordnung von Farben zu den entsprechenden Dialogelementen unterstützen. Bisher wurde dieser Farbauswahlvorgang dem subjektivem Empfinden des Dialogmasken-Entwicklers überlassen. Doch gerade, wo in der heutigen Zeit die Zahl der Berufstätigen immer weiter zunimmt, die während ihres gesamten Arbeitstages vor einem Computer-Bildschirm sitzen, wird der Bedarf einer ergonomischen Farbzusammenstellung immer größer. Eine ergonomische Farbzusammenstellung muß gewährleisten, daß ein Benutzer auch nach mehrstündiger Arbeit die Farben der Masken noch als angenehm empfindet.

Bei der Automatisierung der Farb-Vorauswahl können psychologische Einflußfaktoren für die Farbwahl nicht berücksichtigt werden. Psychologische Einflußfaktoren sind die synästhetische Wirkung (ausgelöste Gefühle und Stimmungen) und die Alltagsbedeutung einzelner Farben. Alltagsbedeutungen können sowohl allgemeingültig als auch berufsspezifisch sein. Allgemeine Farbbedeutungen werden schon von frühester Jugend an, z.B. durch den

Farbeinsatz bei der Regelung des Straßenverkehrs, anerzogen. Deshalb assoziiert der Betrachter bestimmte Farbtöne direkt mit bestimmten Bedeutungen [7]:

- Rot - Stop, Feuer, heiß, Gefahr
- Gelb - Vorsicht, langsam, Test
- Grün - Weitergehen, in Ordnung, Sicherheit, Pflanzen
- Blau - kalt, Wasser, Ruhe, Himmel, neutral
- Grau - neutral

Am Beispiel der Farbe Blau werden ihre verschiedenen berufsspezifischen Bedeutungen gezeigt [7]:

- Für Finanzmanager - Fähigkeit oder Zuverlässigkeit einer Gemeinschaft
- Für Mediziner - Tod
- Für Kernreaktor-Überwacher - Kälte oder Wasser

Da ein Farbexpertensystem kein Hintergrundwissen über die fallspezifische semantische Bedeutung der jeweiligen Farbwahl hat, ist dies keine Randbedingung bei der Zusammenstellung der Farbvorschläge.

Technische Einflußfaktoren wie Lichtverhältnisse am Arbeitsplatz und verwendete Hardware können aus Gründen fehlendem Wissens über den Zielarbeitsplatz nicht berücksichtigt werden.

Das angewendete Wissen bezieht sich auf die Farbwahrnehmung und die physiologischen Einschränkungen des Auges. Die physiologischen Einschränkungen sind ein Sammelbegriff für Farbenblindheit, Farbschwäche, chromatische Aberration und Verteilung der Farbrezeptoren auf der Netzhaut.

Um Kriterien für die Auswahl von Farben zu finden, müssen erst einmal Merkmale gefunden werden, mit der sich eine Farbe charakterisieren läßt. Nicht nur die Farbe als solche, sondern das Zusammenspiel aller verwendeten Farben innerhalb einer Maske spielt eine große Rolle bei der Auswahl von geeigneten Regeln. Bei der Regelfindung wird deutlich, daß es zwei unterschiedliche Problembereiche gibt, die aufeinander aufbauen:

- Charakterisierung und die damit verbundene Unterscheidungsmöglichkeit von Farben bzw. Farbtönen anhand verschiedener Farbeigenschaften.
- Auswertung von Farbabhängigkeiten zwischen Dialogelementen bzw. Dialogelementteilen einer Maske.

2 Farbklassifikation

Farbtöne auf Computerbildschirmen lassen sich durch die numerischen RGB-Werte (Rot-Grün-Blau-Werte) der drei Elektronenkanonen des Monitors in eindeutiger Weise voneinander abgrenzen. Diese absoluten Farbabstufungen stehen aber kaum im Verhältnis zum individuellen Farbpfinden des menschlichen Auges. Die Gesamtheit aller meßbaren Farben liegt bei ungefähr 7,5 Millionen.

Das menschliche Auge dagegen ist nur in der Lage 160 Farbtöne und 600.000 Farbnuancen [3] voneinander zu unterscheiden. Die auf einem Computer darstellbaren Farben werden durch ihre RGB- bzw. HSV-Werte (Hue (Farbwert), Saturation (Sättigung), Value(Helligkeitswert)) repräsentiert. Deshalb bleibt nur die Möglichkeit, Wissen über das menschliche Farbempfinden durch numerische Werte auszudrücken, um so eine Farbe mittels ihrer RGB-Zusammensetzung bewerten und charakterisieren zu können.

Betrachtet man eine Farbe, so entsteht das Problem, demjenigen, der diese nicht sehen kann, durch Zuordnung charakteristischer Eigenschaften eine möglichst genaue Beschreibung zu geben, so daß er sich diese Farbe aufgrund dessen vergegenwärtigen kann. Charakteristische Eigenschaften werden besonders dann wichtig, wenn man zwei Farbtöne miteinander vergleichen will. Selbst wenn sich zwei Farbtöne gleichen, möchte man sie sprachlich unterscheiden können.

Eine leichte Unterscheidungsmöglichkeit besteht, wenn der Betrachter sagen kann: „Dieser Farbton ist rot, der andere ist blau“. Hieraus wird deutlich, daß Farbtöne Namen haben. Doch welche Farben können als Grundfarben, die Farben, aus denen sich alle anderen Farben zusammensetzen bezeichnet werden? Eine Antwort gibt der Aufbau der Netzhaut (Retina) des menschlichen Auges. Die Netzhaut ist die lichtempfindliche Fläche des Auges. Sie beinhaltet zwei Arten von Rezeptoren. Die Stäbchen und die Zäpfchen. Beide „übersetzen“ das einfallende Licht in Nervenimpulse. Die Stäbchen haben kein Farbempfinden und sind mehr für das Sehen bei geringen Helligkeitsniveaus, zum Beispiel bei Nacht, verantwortlich. Zäpfchen reagieren erst ab einem höheren Helligkeitsniveau. Sie sind für das Erkennen von Farben verantwortlich. Auf der Retina gibt es drei unterschiedliche Populationen dieser Farbsehzellen, die für jeweils unterschiedliche Frequenzbereiche des einfallenden Lichtes sensitiv sind. Ungefähr 64 % der Zäpfchen sind bevorzugt sensitiv für langwelliges Licht mit der maximalen Empfindlichkeit bei 575 nm Wellenlänge. Sie werden als rot-empfindliche Rezeptoren bezeichnet, obwohl ihre maximale Empfindlichkeit im Frequenzbereich für Wahrnehmung der Farbe Gelb liegt. Ungefähr 32 % der Zäpfchen haben ihre maximale Empfindlichkeit bei 535 nm. Diese werden als grün-empfindliche Rezeptoren bezeichnet. Die restlichen 2 % haben ihre maximale Empfindlichkeit bei 445 nm. Sie werden deshalb als blau-empfindlich bezeichnet.

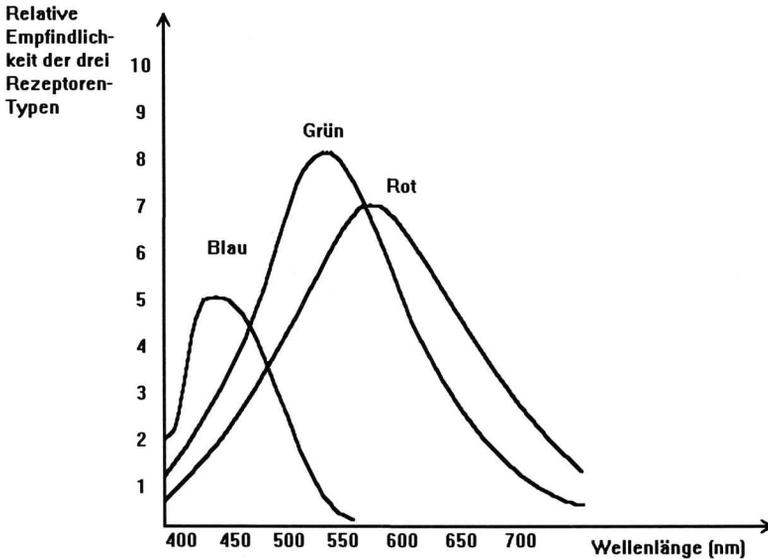


Abb. 1: Empfindlichkeit der Rezeptoren in Abhängigkeit zur Wellenlänge [10]

Die Farbrezeptoren des Auges legen die Farben Rot, Grün und Blau als Grundfarben für das menschliche Farbempfinden fest. Alle übrigen Farbtöne werden durch additive Mischung der drei Grundfarben erzeugt. Die Empfindung eines Farbtons wird durch die Frequenz des einfallenden Lichtes bestimmt. Die Interpretation der Zusammensetzung des Farbtons aus Grundfarben hängt von der Empfindlichkeit der jeweiligen Rezeptoren-Typen bei dieser Frequenz ab. Die Entstehung eines Farbeindrucks setzt ein bestimmtes Helligkeitsniveau voraus, ab dem die Zapfchen erst sensibel für Licht werden.

Das menschliche Auge ist in der Lage, aus einer Mischfarbe die Grundfarben herauszuinterpretieren. Ab einem bestimmten Mischungsverhältnis besteht nicht mehr die Möglichkeit, die dominante Grundfarbe eindeutig zu erkennen. Dieser Interpretationsvorgang läßt sich als eine Art Kippzustand bezeichnen. Es ist keine Entscheidung möglich, ob z.B. die Mischfarbe Türkis der Farbe Blau oder der Farbe Grün zugeordnet wird. Die Farbempfindungen von Blau und Grün sind annähernd gleich. Ein gleiches Verhalten läßt sich auch bei der Mischung von zwei anderen Grundfarben beobachten. Eine Ausnahme bildet das aus Rot und Grün gemischte Gelb. In der von Hering [10] entwickelten Vierfarbentheorie kommt Gelb trotz ihrer Eigenschaft als Mischfarbe eine besondere Bedeutung zu. Die Theorie stützt sich auf der Tatsache, daß Gelb in vielen psychologischen Experimenten gleiche Eigenschaften wie eine Grundfarbe aufweist. Physiologisch

wird diese Theorie durch die Funktionsweise der den Zapfen nachgeschalteten neuronalen Einheiten bestätigt. Die neuronalen Mechanismen dieser Einheiten vergleichen die Aktivität der Zapfen miteinander. Es gibt zwei Einheiten, auch Detektoren genannt, die für die Farbpfindung verantwortlich sind. Der erste Detektor vergleicht die Aktivität der rotempfindlichen Zapfen mit der Aktivität der grünempfindlichen Zapfen. Der zweite Detektor vergleicht die Aktivität der blauempfindlichen Zapfen mit der aufsummierten Aktivität der rot- und grünempfindlichen Zapfen. Die aufsummierte Aktivität der rot- und grünempfindlichen Zapfen wird als Empfindung des Farbtons Gelb interpretiert. Das Farberleben wird somit durch die Kombination der Ausgangssignale eines Rot/Grün- und eines Gelb/Blau-Detektors bestimmt. Ein Eingangssignal pro Detektor verringert, das andere verstärkt sein Ausgangssignal zum Gehirn. Sind beide Eingangssignale gleich stark, kann sich der Detektor auf keine Farbe festlegen. Er sendet sein Ruhe-Ausgangssignal, als wenn gar keine Farb-Bewertung stattgefunden hätte. Es ist deshalb niemals die Wahrnehmung von Rot und Grün bzw. von Gelb und Blau an einem Ort möglich. Paare von Rot und Grün bzw. von Gelb und Blau werden darum als Gegenfarben bezeichnet. Liegen die Ausgangssignale beider Detektoren auf dem Ruhepotential, so wird die einfallende Strahlung an diesem Punkt als „unbunt“ (Grau) empfunden. Abbildung 2 zeigt die schematische Darstellung der Rezeptorenauswertung.

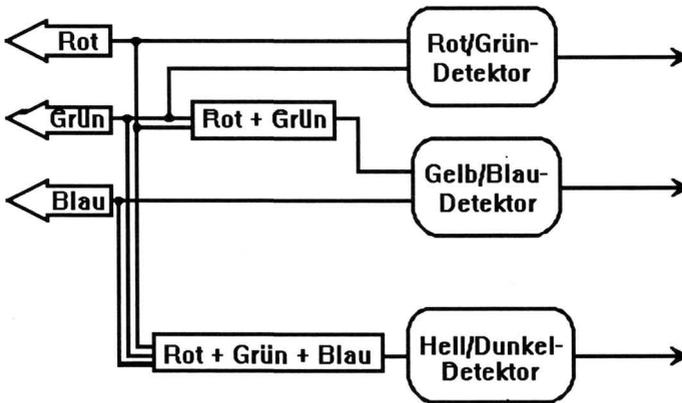


Abb. 2: Schematische Darstellung der Farb-Rezeptorenauswertung [3]

Jeder Farbton, der in einem speziellen Farbbereich liegt, wird durch den im Rahmen dieser Arbeit entstandenen Farbexpertensystems einer bestimmten Farbfamilie zugeordnet. Eine Farbfamilie ist die Menge aller Farbtöne, die in einem bestimmten Farbbereich liegen. Insgesamt lassen sich neun Farbfamilien, bestehend aus Grund- und Mischfarben herausarbeiten. In Tabelle 1 ist zu erkennen, daß das RGB-Mischungsverhältnis konform zur Stellung der Frequenz auf dem sichtbaren Frequenzband ist. Die einzige Ausnahme stellt Violett dar. Eine andere Darstellungsart in Verbindung mit der Gegenfarbtheorie ist der in Abbildung 3 gezeigte Farbkreis aus den vier „Urfarben“ Rot, Grün, Gelb und Blau

(Roche Lexikon Medizin). Hier schließt sich an Violett direkt wieder Rot an. Das sichtbare Farbspektrum wird quasi zu einem Kreis zusammengebogen. Die entsprechenden Gegenfarbfamilien liegen jeweils auf der gegenüberliegenden Seite des Kreises. Grau kommt nicht als Farbfamilie vor. Grau ist ein Lichtgemisch ohne eine oder mehrerer dominanter Grundfarben. Auch in der Malerei wird Grau nicht als Farbe angesehen. Bei der Farbgebung einer Bildschirm-Dialogmaske spielen die Elemente von Grau als neutraler Farbfamilie eine wichtige Rolle, besonders dann, wenn die Wahl von Farbvorschlägen durch Gegenfarb-Unverträglichkeiten eingeschränkt wird.

Farbfamilie	RGB-Zusammenstellung	maximales Farbpempfinden bei Wellenlänge in nm	maximales Farb-Helligkeits-Verhältnis (10 für Weiß)
Rot	Rot	700	4,9
Orange	Gelb + Rot	600	$(7,6+4,9)/2 = 6,25$
Gelb	Rot + Grün	570	7,6
Gelb-Grün	Gelb + Grün	535	$(7,6+7,1)/2 = 7,35$
Grün	Grün	500	7,1
Türkis	Blau + Grün	493	7,4
Blau	Blau	470	2,7
Violett	Rot + Blau	400	3,7
Grau	Rot + Grün + Blau	-	10

Tabelle 1: Die Farbfamilien geordnet nach dem maximalen Farbpempfinden entlang des sichtbarem Farbspektrums

Die Farbbereichs-Intervallgrenzen der Farbfamilien wurden subjektiv mit Hilfe des Farbwertes aus dem HSV-Farbsystem festgelegt. Der Wertebereich des Farbwertes aus diesem System stellt praktisch einen Umlauf auf dem Farbkreis von Rot ausgehend im Uhrzeigersinn dar.

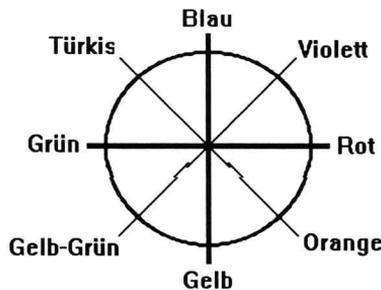


Abb. 3: Der Farbkreis

Neben der Empfindung eines Farbtons gibt es noch zwei weitere Dimensionen des Farberlebens.

Die eine ist die der *Sättigung*. Sie beschreibt die Intensität des Farberlebnisses. Zum Beispiel ist Weiß ungesättigt, Rosa zum Teil gesättigt und ein leuchtendes Rot ist zutiefst gesättigt. Der Sättigungsgrad hängt von dem Anteil an weißem Licht des einfallenden Strahls ab. Ein besonders starkes oder ein besonders schwaches Ausgangssignal des Rot/Grün- bzw. des Gelb/Blau-Detektors deutet auf eine starke Farbsättigung hin. Bei „blassen“ Farben bewegt sich das Ausgangssignal in der Nähe des Ruhesignals.

Die andere Dimension des Farberlebens ist die der *Helligkeit*. Physikalisch gesehen wird die Helligkeitsempfindung durch die Amplitude der Lichtwellen bestimmt. Das Erleben von Schwarz bis Weiß findet in einem den Zapfen nachgeschalteten Hell/Dunkel-Detektor statt, der die gesamte Aktivität der rot-, grün- und blauempfindlichen Farbrezeptoren bewertet. Die sehr viel geringere Anzahl der blauempfindlichen Zapfen gegenüber die der anderen, ist der Hauptgrund für den nur geringen Einfluß von blauem Licht am Helligkeitsempfinden.

Durch die entsprechend größere Anzahl und die größere Empfindlichkeit von rot- und grünempfindlichen Farbrezeptoren wird Gelb am intensivsten empfunden. Wird ein gelber und ein blauer Lichtstrahl gleicher Energiedichte miteinander verglichen, so erscheint der gelbe mehr als doppelt so hell. Diese Erscheinung wird als Helmholtz-Kohlrausch-Effekt bezeichnet. Murch [7] ermittelte 1984 eine Farb/Helligkeits-Skala (siehe oben Tabelle 1). Er vergleicht die Helligkeitsempfindung von Weiß, festgelegt als 10 cd/m², mit der anderer Farben. Nicht bekannte Werte wurden der Einfachheit halber aus den Daten der direkt benachbarten Farbfamilien durch Mittelwertbildung ermittelt. Die Sättigung eines Farbtons hat also einen großen Einfluß auf die Helligkeitsempfindung des Auges. Ein stark gesättigter Farbton (besonders im Gelb/Grün-Bereich) wird häufig als heller empfunden, als einer mit größerem Weißlicht-Anteil. Dieser Effekt wird z.B. in Waschmittelwerbungen eingesetzt. Die stark gesättigten Farben der gezeigten Kleidungsstücke werden in der Werbung als „leuchtende“ Farben bezeichnet. Gerade „leuchtende“ Farbtöne ziehen besonders das Augenmerk des Betrachters auf sich.

Nach dieser Betrachtung der biologischen und psychologischen Grundlagen für das Farbempfinden, entsteht das Problem der Umsetzung auf die Charakterisierung von RGB-Werten. Die vom Computer-Bildschirm erzeugten Farben bestehen aus bestimmten Anteilen der Monitor-Grundfarben Rot, Grün und Blau (RGB). Die Wirkung des erzeugten Farbtons setzt sich, wie in Abbildung 4 gezeigt, im Prinzip aus drei Einflußfaktoren zusammen. Dies sind der Grau-Anteil, der Misch-Anteil und der Basis-Farbanteil.

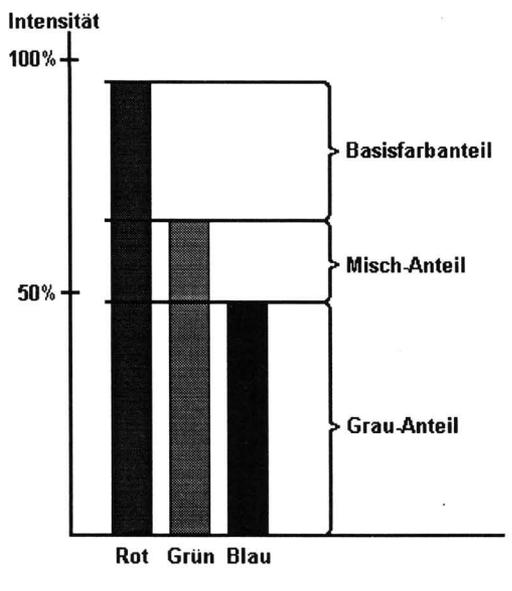


Abb. 4: Zusammensetzung eines Farbtons am Beispiel von RGB-Werten

Der Grau-Anteil ist der Anteil eines Farbtons, den alle drei Monitor-Grundfarben in ihrer Intensität gemeinsam haben. Er wird bestimmt durch den Farbanteil der Monitor-Grundfarbe mit der geringsten Intensität. Dieser Anteil bestimmt wesentlich die Helligkeit einer Farbe. Er ist äquivalent zu der oben erwähnten Zumischung von Weißlicht.

Der Mischanteil des Farbtons ist der Anteil, den die beiden intensivsten Monitor-Grundfarben oberhalb des Grau-Niveaus gemeinsam haben. Er wird bestimmt durch die Farbintensität der zweitstärksten Monitor-Grundfarbe.

Alles was oberhalb des Misch-Anteils liegt, wird als Basis-Farbanteil bezeichnet. Er wird, wie zu sehen ist, durch die Monitor-Grundfarbe mit der stärksten Farbintensität bestimmt.

Das Verhältnis von Basis-Farbanteil und Misch-Anteil bestimmt den Farbwert des HSV-Systems und damit die Farbfamilie. Ist die Summe aus Basis-Farbanteil und Misch-Anteil kleiner gleich 3 % bezogen auf 100 % Maximalintensität, so kann nicht mehr entschieden werden, welcher Farbfamilie man diesen Farbton zuordnen soll. Die neuronalen Farbdetektoren senden ihr Ruhe-Ausgangssignal. Darum werden alle zutreffenden Werte-Kombinationen der neutralen Farbfamilie Grau zugeordnet.

Da der Helligkeitseindruck von der Sättigung des Farbtons als Funktion der Farbfamilie abhängt, soll nun eine neue Sättigungs-Definition auf der Grundlage der Farb/Helligkeits-Skala von March gemacht werden. Der Sättigungswert des HSV-Systems ist unabhängig von den zwei anderen Größen und liefert deshalb

unbefriedigende Ergebnisse. Sättigung ist eine subjektive Bewertung des Farbeindrucks und kein absoluter Wert. Die Summe aus Basis-Farbanteil und Mischanteil wird im folgenden als Sättigungsreferenz bezeichnet. Dem Farbexpertensystem reichen drei Zustände zur Bewertung der Sättigung aus:

- gering (blasser Farbton)
- mittel
- stark (leuchtender Farbton)

Die Zustands-Übergangswerte werden durch die zugehörige Farbfamilie bestimmt. Der als untere Referenz empirisch ermittelte Übergangswert von „mittel“ nach „stark“ für die Farbfamilie Gelb, mit einem Verhältnis von 7,6 cd/m², liegt bei einem Sättigungs-Referenzwert von 82 % bezogen auf 100 % Maximalwert. Über Dreisatzrechnung lassen sich die Werte für die anderen Farbfamilien berechnen. Wie zu erwarten war, erreichen die Farbfamilien an den Rändern des sichtbaren Spektrums (Blau, Violett und Rot) nicht den Zustand „stark“. Selbst das Element mit der größten Farbreinheit jeder dieser Familien erreicht nicht die Leuchtwirkung, um hell zu erscheinen. Die Zustands-Übergangswerte von „mittel“ nach „gering“ lassen sich auf die gleiche Weise mit der Farbfamilie Blau mit 70 % als oberer Referenz ermitteln.

Für die Charakterisierung der Helligkeit wird eine mittlere Helligkeit berechnet, d.h. es wird der Mittelwert aus dem Rot-, dem Grün- und dem Blauwert gebildet. Das Ergebnis wird einem der folgenden drei *Helligkeitszustände* zugeordnet:

- dunkel
- normal
- hell

Für das Helligkeitsempfinden ist im wesentlichen der Grau-Anteil verantwortlich. Darum wird für die subjektive Einstellung der Übergangsgrenzwerte ein Grauton verwendet, um sich nicht durch den Sättigungseinfluß der Helligkeitsempfindung beeinflussen zu lassen. Gute Ergebnisse lassen sich mit dem Zustandsübergang der mittleren Helligkeit von normal nach hell bei 75 % bzw. von normal nach dunkel bei 21 % bezogen auf 100 % Maximalwert erzielen.

Das Farbexpertensystem bewertet einen Farbton nach den drei Kriterien *Farbfamilie*, *Sättigung* und *Helligkeit*. Die drei Kriterien sind wie folgt unterteilt:

Farbfamilie	: Rot, Grün, Blau, Gelb, Gelb-Grün, Orange, Türkis, Violett, Grau
Sättigung	: gering, normal, stark
Helligkeit	: dunkel, normal, hell

Mehr Kriterien oder eine schärfere Unterteilung sind nicht notwendig, da das Ziel ist, herauszufinden, ob Farben bei festgelegten Randbedingungen zueinander passen. Die Parameter der Farbbewertungsregeln werden, wie gezeigt, durch subjektive Auswertung von Farbbetrachtungen festgelegt. Diese, speziell die

Intervallgrenzen, bieten Ansatz zur Kritik, da Randentscheidungen immer vom Farbempfinden des jeweiligen Betrachters abhängen. Der Benutzer ist deshalb in der Lage, das Farbexpertensystem in der automatischen Bewertung eines Farbtons nach den genannten Kriterien zu überstimmen.

Die Ergebnis-Ausgabe der Farb-Bewertung des Expertensystems ist integriert in dem in Abbildung 5 gezeigten Benutzerdialog. Sie wird repräsentiert durch die drei Drop-Down-List-Boxen auf der linken Seite.

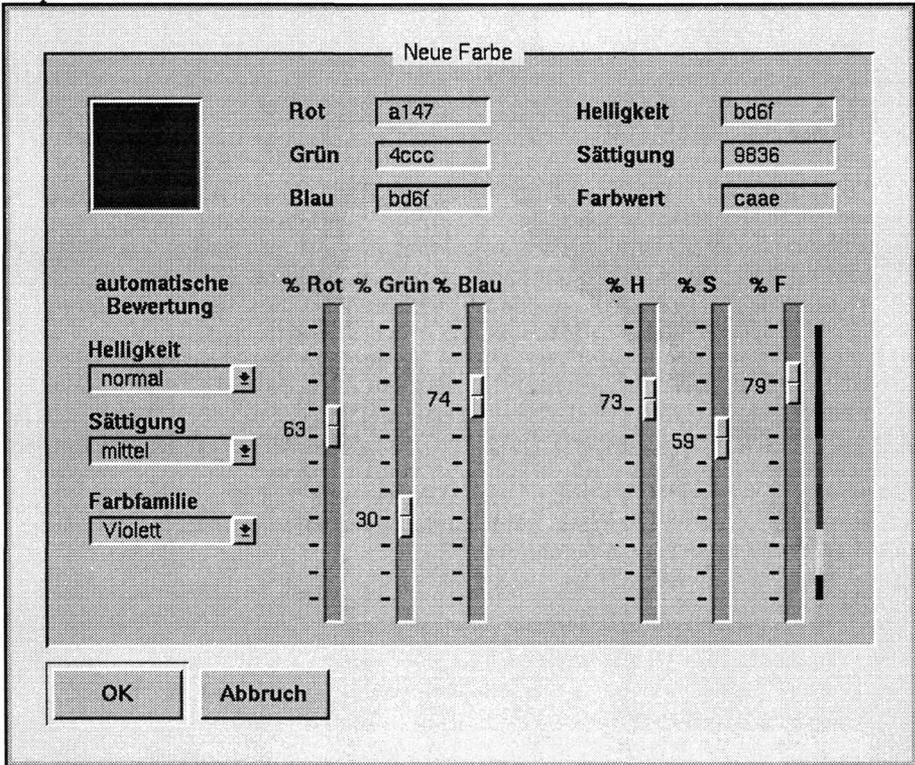


Abb. 5: Der Farb-Bewertungsdialog

Mit Hilfe zweier Farbsysteme (RGB und HSV) stellt der Benutzer den gewünschten Farbton, angezeigt in der linken oberen Ecke, ein. Die Schieberegler und Wert-Eingabefelder sind zueinander synchronisiert. Verschiebt der Benutzer einen Regler oder ändert er einen der Werte in den Eingabefeldern, passen die Schieberegler und Wert-Eingabefelder des anderen Farbsystems automatisch ihre Werte an. Die Bewertung durch das Farbexpertensystem wird repräsentiert durch die Drop-Down-List-Boxen auf der linken Seite der Dialogmaske. Bei jeder Wert-Veränderung des gerade bearbeiteten Farbtons wird der Auswertungs-Mechanismus angestoßen. Das Ergebnis sind die aktuell angezeigten Zustände. Ist

der Benutzer mit der automatischen Bewertung nicht einverstanden, so wählt er aus den in den Auswahl-Listen angebotenen möglichen Zuständen einen anderen aus. Durch Aktivierung des OK-Buttons wird die neu kreierte Farbe mit der aktuellen Bewertung in die Liste der zur Verfügung stehenden Farben aufgenommen. Durch die Übereinstimmungs-Möglichkeit des Farbexpertensystems durch den Benutzer besteht auch die Möglichkeit, bei der anschließenden Auswertung der Farbabhängigkeiten unsinnige Vorschläge zu erhalten. Hat der Benutzer z.B. den Farbton Schwarz als hellen, stark gesättigten Vertreter der Farbfamilie Gelb nachcharakterisiert, so wird dieser auch anhand der extrem falschen Charakteristika im Auswahlprozeß bewertet.

3 Farb-Abhängigkeiten

Ist die Menge aller möglicher Farben durch den Benutzer festgelegt, so kann er mit diesen Farben verschiedene Farbschemata festlegen und verwalten. Ein Farbschema ist eine Farbzusammenstellung, die auf ein festgelegtes Beispiel-Widgetset (Widget = Dialogelement) bezogen ist. Die Widgets aus diesem Referenz-Widgetset (siehe Abbildung 6) sind repräsentativ für alle Widgets. Das Beispiel-Widgetset und die Bezeichnungen der Dialogelement-Teile sind wegen der weiten Verbreitung und der großen Akzeptanz von Microsoft-Windows, konform zu denen des Einstellungsdialogs der Microsoft-Windows 3.x-Farbpalette.

Die Farben, die man z.B. für ein Eingabefeld und den dazugehörigen Eingabetext festgelegt, werden auch für die Einfärbung von List-Boxen, Combo-Boxen, Spin-Buttons usw. verwendet. Insgesamt sind 15 repräsentative Dialogelement-Teile, die Komponenten ganzer Dialogelemente, herausgearbeitet worden, für die jeweils eine Farbe zugeordnet werden kann:

Dialogelement-Teile:

- Titelleiste, Titelleistext
- Menüleiste, Menütext, Hervorhebung, Text aktiv, Text deaktiviert
- Programmarbeitsbereich
- Bildlaufleiste
- Hintergrund
- Fenstertext
- Schaltfläche, Schaltflächentext
- Eingabefeld, Eingabetext

Es existieren acht unterschiedliche Dialogelement-Typen (jede Zeile in der Liste „Dialogelement-Teile“ stellt im Prinzip ein Dialogelement dar) von deren Farbwahl man alle anderen, auch zusammengesetzte Typen ableiten kann.

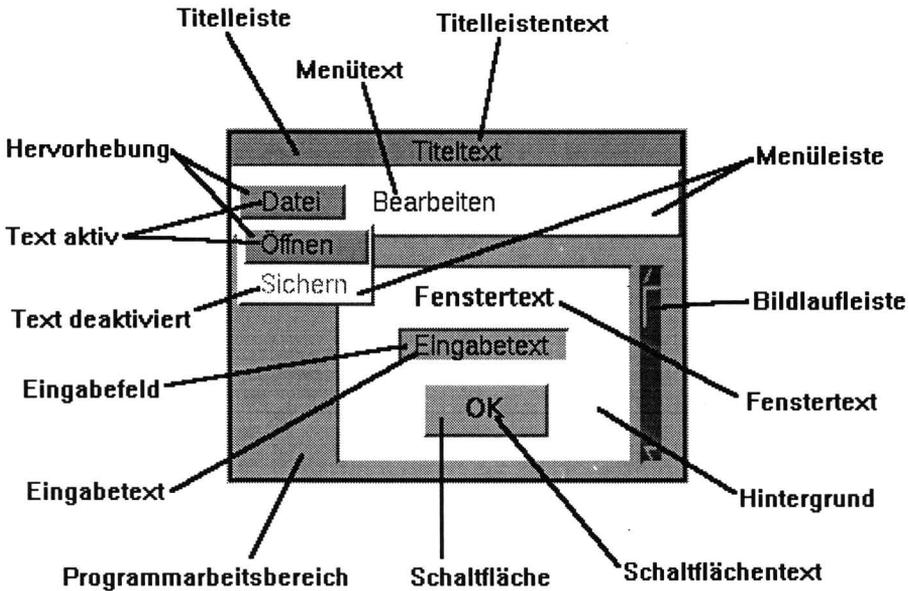


Abb. 6: Das Beispiel-Widgetset

Das Zusammenspiel der Dialogelement-Teile erfordert bestimmte Farb-Beziehungen bzw. Farb-Abhängigkeiten zwischen aneinander angrenzenden Teilen. Die Farbe eines Textes muß sich zum Beispiel deutlich von der Farbe der ihn umgebenden Hintergrundfläche abheben, um die Lesbarkeit zu erhöhen. Eine andere Beziehung besteht zwischen aneinander angrenzenden Flächen. Es können zwei Fälle unterschieden werden. Beim ersten Fall ist es nicht wichtig, daß sich die Farben unterscheiden, ob überhaupt eine Grenze wahrgenommen werden muß oder eine Grenze sowieso schon durch einen deutlichen Rahmen vorgegeben ist. Ein Beispiel hierfür ist der Push-Button, der normalerweise auf dem Fenstersystem des Apple-Macintosh nicht standardmäßig farblich hervorgehoben wird. Beim anderen Fall soll gerade eine Fläche farblich hervorgehoben werden. Bei einer Menüleiste möchte man z.B. das gerade aktive Menü und den Eintrag, auf dem momentan der Mauszeiger steht, farblich besonders kennzeichnen (siehe „Hervorhebung“ des Beispiel-Widgetsets in Abbildung 6).

Hieraus lassen sich drei Beziehungen, die eine Farbe eines Dialogelement-Teils zu einer ihr angrenzenden Farbe eines anderen Dialogelement-Teils haben kann, herausarbeiten:

- Kontrastfarbe
- Äquivalenzfarbe

- Synonymfarbe

Bei der Präsentation der Regeln zur Beschreibung von Beziehungen zwischen den Farben werden die Attributwerte (Farbfamilie, Helligkeit und Sättigung) zweier Farben miteinander verglichen. Um unterscheiden zu können, welcher Attributwert zu welcher Farbe gehört, soll folgende Namenskonvention gelten:

Die Farbe, deren Tauglichkeit gerade getestet wird, heißt *Vorschlagsfarbe*, die Farbe, gegen deren Werte getestet wird, *Vergleichsfarbe*. Werden z.B. die für den Titelleistertext passenden Farben gesucht, so ist die Farbe der Titelleiste die Vergleichsfarbe, die gerade aktuell getestete Farbe die Vorschlagsfarbe.

Die Kontrastfarbe

Eine Farbe wird als Kontrastfarbe bezeichnet, wenn sich die Farbe eines Textes oder eines Symbols deutlich von der Farbe seiner Hintergrundfläche abheben soll. Die Lesbarkeit wird besonders durch einen großen Helligkeitsunterschied verbessert, also dunkler Text vor hellem Hintergrund (Positiv-Darstellung) bzw. umgekehrt (Negativ-Darstellung). Aus diesem Kriterium lassen sich die folgenden Regeln ableiten:

- Ist die Vergleichsfarbe dunkel, so müssen die Vorschlagsfarben hell bzw. jedoch mindestens von normaler Helligkeit und starker Sättigung sein.
- Ist die Vergleichsfarbe hell, so müssen die Vorschlagsfarben dunkel bzw. jedoch höchstens von normaler Helligkeit und geringer Sättigung sein.
- Hat die Vergleichsfarbe eine normale Helligkeit und eine starke Sättigung, so müssen die Vorschlagsfarben dunkel sein.
- Hat die Vergleichsfarbe eine normale Helligkeit und eine geringe Sättigung, so müssen die Vorschlagsfarben hell sein.

Da man einen dunkelgrünen Text auf einem hellgrünen Hintergrund schlechter erkennt, als wenn der Text z.B. dunkelblau wäre, so ist es sinnvoll die eigene Farbfamilie und alle Farbfamilien, in denen die dominierenden Farben auch dominant sind, nicht zu berücksichtigen. Werden z.B. alle Farben der Farbfamilie Grün aus der Vorschlagsliste gestrichen, so werden auch die direkten Nachbarn im Farbkreis, Gelb-Grün und Türkis, gestrichen.

Gehört die Vergleichsfarbe einer der Grundfarbfamilien (Rot, Grün, Blau und Gelb) an, so müssen alle Vorschlagsfarben, die der Gegenfarbfamilie angehören, gelöscht werden. Dies ist sinnvoll, da die neuronalen Farb-Detektoren (Rot/Grün bzw. Gelb/Blau) eine Farbe und ihre Gegenfarbe an demselben Ort nicht oder nur schwer unterscheiden können (siehe 2. Farbklassifikation). Da auch bei den Mischfarbfamilien die Farbanteile der Grundfarben denen der Gegengrundfarben auf der auf dem Farbkreis gegenüber liegenden Mischfarbe gleichen, werden auch hier die Vorschlagsfarben der Gegenfarbfamilie gelöscht.

Bei der Text- oder Symboldarstellung dürfen Rot und Blau niemals zusammen eingesetzt werden. Das langwellige Rot benötigt einen anderen Brennpunkt, als das

kurzweilige Blau. Die erforderliche unterschiedliche Linsenakkommodation (Einstellung des Brennpunktes durch Linsenkrümmung) führt zu Unschärfen und zu Ermüdungserscheinungen durch häufige Akkommodation. Das Auge kann nur für eine der beiden Farben scharfgestellt werden; die andere erscheint dementsprechend unscharf.

Vorschlagsfarben aus der Farbfamilie Grau werden wegen ihrer Farbfamilien-Zugehörigkeit nie gestrichen, denn Grau gilt als neutrale Farbfamilie.

Die Äquivalenzfarbe

Eine Farbe wird als Äquivalenzfarbe bezeichnet, wenn bei aneinander grenzenden Flächen ein Eindruck der Zusammengehörigkeit vermittelt werden soll. Diesen Eindruck erreicht man vor allem dadurch, daß die Vorschlagsfarbe der gleichen oder einer verwandten Farbfamilie der Vergleichsfarbe angehört. Darum werden Vorschlagsfarben, die der Gegenfarbfamilie oder einem der beiden direkten Nachbarn auf dem Farbkreis angehören, aus der Vorschlagsliste gestrichen. Gehört die Vergleichsfarbe zur Familie Gelb, so werden mögliche Vorschläge der Familien Blau, Türkis und Violett gestrichen.

Elemente der Farbfamilie Grau vertragen sich mit jeder Farbfamilie.

Die Synonymfarbe

Eine Farbe wird als Synonymfarbe bezeichnet, wenn bei angrenzenden Flächen ein Eindruck der Zusammengehörigkeit vermittelt werden soll, sie sich aber trotzdem, zumindest geringfügig, farblich voneinander abheben sollen. Bei der Eingrenzung der Farbvorschläge gilt das gleiche, wie bei der Äquivalenzfarbe. Zusätzlich wird aber die Vergleichsfarbe selbst aus der Liste der möglichen Farbvorschläge entfernt. Auf diese Weise wird eine Unterscheidung erzwungen.

Neben den Regeln zu den Farbbeziehungen gibt es auch noch zwei Regeln, welche die Vorschlagsauswahl durch den Dialogelement-Teil selbst einschränken.

Die Flächenfarb-Einschränkung

Für große Flächen ohne Funktion, wie der Programmarbeitsbereich und der Hintergrund, werden Vorschlagsfarben mit starker Sättigung aus der Vorschlagsliste entfernt. Zum einen lenken die stark gesättigten Farben vom eigentlichen Benutzerdialog ab, zum anderen werden die Zäpfchen im Auge durch die Reizüberflutung überlastet, so daß farbige Nachbilder entstehen können (farbiger Sukzessivkontrast)[10].

Die Textfarb-Einschränkung

Blau ist als Farbfamilie für Textfarben ungeeignet. Der Grund liegt in der Verteilung der Zapfen auf und um den fovealen Bereich (gelber Fleck), der Stelle des schärfsten Sehens auf der Netzhaut. Im zentralen fovealen Bereich gibt es kaum blauempfindliche Farbrezeptoren, so daß dieser Bereich fast unempfindlich gegenüber blauem Licht ist. Fixiert das Auge ein kleines blaues Objekt z.B. einen Buchstaben, so kann dieser, zumindest bei kleiner Schriftgröße, nur schwer wahrgenommen werden [9][10].

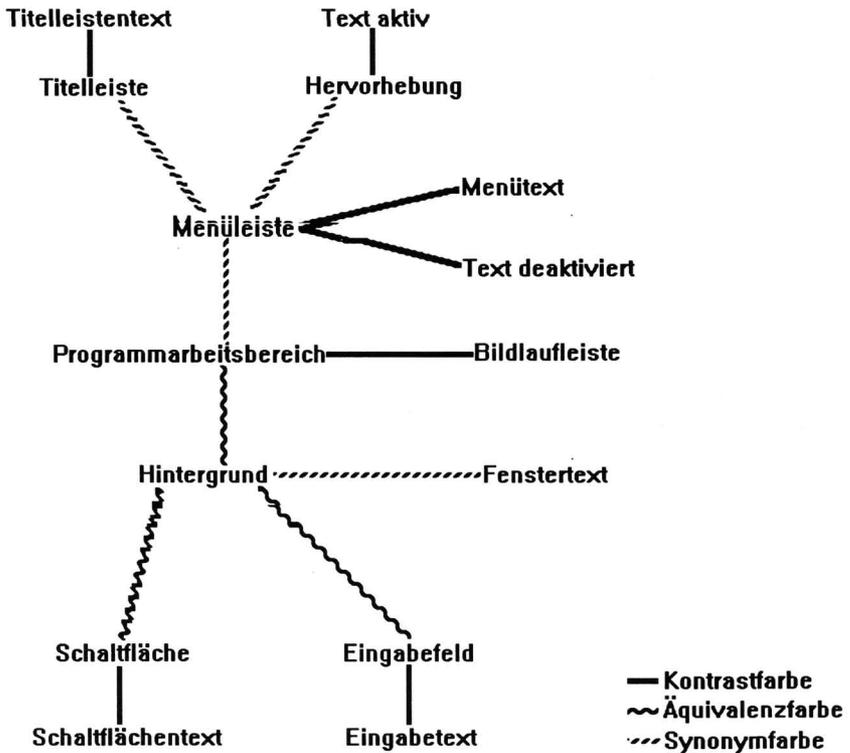


Abb. 7: Kontrast-, Äquivalenz- und Synonymfarb-Beziehungen der Dialogelement-Teile untereinander

Alle die zuvor vorgestellten Beziehungen, Einschränkungen und Farbbewertungen bilden, in konkreten Regeln ausgedrückt, die Wissensbasis des Farbexpertsystems. Die Regeln stützen sich auf Fakten, die innerhalb der physiologischen und psychologischen Grundlagenforschung ermittelt wurden. Die Randbedingungen bei der Lösungsfindung werden im Dialog mit dem Benutzer festgelegt.

4 Zusammenstellung eines Farbschematas

Das Ziel ist, Farbzusammenstellungen der Dialogelement-Teile zu erstellen, die allen Regeln entsprechen. Zu diesem Zweck wird der Benutzer bei der Farbauswahl

durch Vorschläge des Farbexpertensystems unterstützt. Abbildung 8 zeigt den Auswahldialog.

Dem Benutzer stehen 28 fest vordefinierte und 7 selbstdefinierbare Farben pro Farbschema zur Verfügung. Die eigenen Zusatz-Farben können mit Hilfe des im 2. Abschnitt vorgestellten Farbbewertungsdialoges definiert werden. Die „Paletten“-Piktogramme unterhalb der eigenen Farben aktivieren den Definitions-Dialog. Da die Anzahl der verwendeten Maskenfarben sieben nie überschreiten sollte, reicht die Anzahl der selbstdefinierbaren Farben selbst dann aus, wenn der Benutzer keine Farbe aus der Grundfarbpalette verwenden möchte.

Um den Auswahlmechanismus zu starten, können die Dialogelement-Teile aus der Beispiel-Maske direkt angeklickt werden.

Vor Beginn der Regelarbeitung werden alle aktiven Farben zu möglichen Farbvor schlägen erklärt. Aktive Farben sind Farben, deren Attributwerte (Farbfamilie, Helligkeit und Sättigung) bekannt sind. Alle 28 Farben der Grundfarbpalette sind aktive Farben. Die Zusatzfarben sind bis zu ihrer Definition durch den Benutzer passive Farben, da ihre Attributwerte unbekannt sind. Durch die Definition einer Zusatzfarbe werden nicht nur ihre RGB-Werte, sondern auch ihre Farbfamilie, ihre Helligkeit und ihre Sättigung automatisch oder durch den Benutzer mitbestimmt. Da die Attributwerte der Zusatzfarbe diese für die Regelauswertung ausreichend klassifizieren, wird sie zu einer aktiven Farbe. Es können somit maximal 35 Farben zu möglichen Farbvor schlägen erklärt werden. Die Zahl 35 ist nur auf den vorgestellten Auswahldialog in Abbildung 8 bezogen. Das bewertende Expertensystem ist für eine unbegrenzte Anzahl von Farben ausgelegt.

Bei der Suche passender Farben für ein Dialogelement-Teil werden nacheinander alle Farbbeziehungen zu anderen Dialogelement-Teilen mit deren jeweiligen Vergleichsfarbe abgearbeitet. Danach folgen die Regeln, die die Auswahl durch den Teil-Typ selbst einschränken. Die Regelpakete arbeiten destruktiv, d.h. pro Regellauf (jede Beziehung steht für einen Regellauf) werden alle Farben aus der Liste der möglichen Farbvor schläge entfernt, die die Regelanforderungen nicht erfüllen können. Alle Farben, die übrigbleiben erfüllen alle Farbbeziehungen zwischen den Dialogelement-Teilen und zu sich selbst. Sie werden nach Abschluß der Beziehungsarbeitung dem Benutzer als Entscheidungshilfe präsentiert. Er kann dann eine von den vorgeschlagenen Farben (gekennzeichnet durch einen schwarzen Rahmen) zu dem aktuell betrachteten Dialogelement-Teil auswählen. Die aktuelle Farbe des Dialogelement-Teils ist durch ein Kreuz auf der Farbfläche markiert. Eine Wahl einer anderen Farbe durch den Benutzer ist dennoch möglich. Nur kann dann keine Garantie für eine ergonomische Farbwahl übernommen werden.

Vor dem Verlassen des Dialoges ist ein kompletter Test aller Farbbeziehungen und Abhängigkeiten möglich. Mit Hilfe eines Informationsfensters wird in textueller Form auf Farbunverträglichkeiten einzelner Dialogelement-Teile hingewiesen und vor einer zu großen Anzahl verwendeter Farben (größer sieben) gewarnt.

Fertiggestellte Farbschemata können mit Hilfe der hinterlegten objektorientierten Datenbank gespeichert und verwaltet werden.

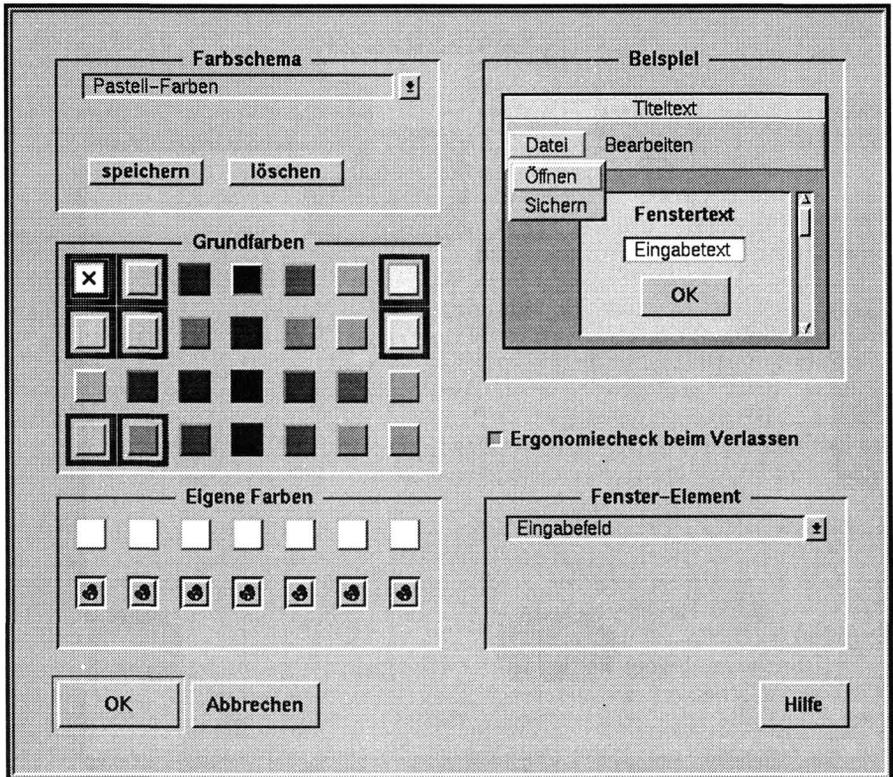


Abb. 8: Der Auswahl Dialog

5 Ausblick

Nicht nur für den Einsatz von Farben bei der Erstellung von Dialogmasken gibt es auf physiologischen und psychologischen Grundlagen basiertes Wissen. Auch für die problembezogene Auswahl und die Positionierung von Dialogelementen lassen sich Regeln z.B. aus Style-Guides ableiten. Mit Hilfe dieser Regeln kann der gesamte Prozeß der Maskengenerierung unterstützt bzw. sogar automatisiert werden.

Eine der ersten Realisierungen auf dem Gebiet der automatischen Maskengenerierung durch Anwendung von Ergonomie-Wissen ist das JANUS-System [1], [2], welches am Lehrstuhl für Softwaretechnik an der Ruhr-Universität Bochum entwickelt wird. Aus den Informationen eines vom Benutzer eingegebenen OO-Modells werden durch Dialog- und Layout-Expertensysteme

Bildschirm-Masken erzeugt, die dem aktuellen Wissensstand auf dem Gebiet der Ergonomie entsprechen.

Die vorliegende Arbeit ist eine Teilkomponente des JANUS-Systems. Sie ermöglicht es dem Benutzer, den Bereich der Farbgebung bei der Maskengenerierung zu konfigurieren.

6 Literatur

- [1] Balzert H., *Der JANUS-Dialogexperte: Vom Fachkonzept zur Dialogstruktur in: Softwaretechnik Trends, August 1993 S. 62 - 72*, Proceedings der GI-Fachtagung Softwaretechnik in Dortmund, 1993
- [2] Balzert H., *Das JANUS-System: Automatisierte, wissensbasierte Generierung von Mensch-Computer-Schnittstellen in: Informatik - Forschung und Entwicklung S. 22-35*, Springer-Verlag, 9/1994
- [3] Bibliographisches Institut Mannheim/Wien/Zürich, *Schüler-Duden Die Biologie*, Duden, 1976
- [4] Bourne L., Ekstrand B., *Einführung in die Psychologie*, Dietmar Klotz, 1992
- [5] Herczeg M., *Software-Ergonomie*, Addison-Wesley, 1994
- [6] Mayhew D., *Principles and Guidelines in Software User Interface Design*, Prentice-Hall Englewood Cliffs, 1992
- [7] Rubin T., *User Interface Design for Computer Systems*, Ellis Horwood Limited, Halesd Press 1988
- [8] Urban & Schwarzenberg, *Lexikon Medizin*, Roche, 1987
- [9] Wandmacher J., *Software-Ergonomie*, Walter de Gruyter, Berlin, New York 1992
- [10] Ziegler J., Ilg R. (Hrsg), *Benutzergerechte Software-Gestaltung*, Oldenbourg, 1993

