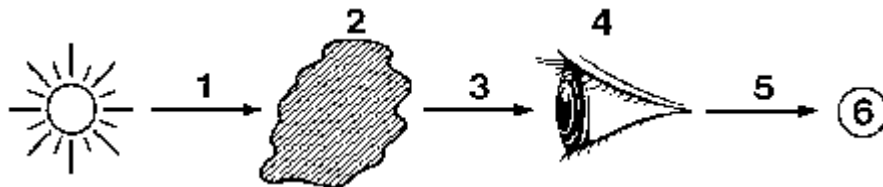


H. KÜPPERS - Fundamentos de la teoría del color

¿Qué es el Color realmente?

La cadena de efectos entre la Luz y la Sensación del Color



Luz de Iluminación (1) que cae sobre un objeto. Una parte de la luz es absorbida y cuando es tragada, aumenta la temperatura del objeto (2). La parte no absorbida de la Luz, llamamos Resto de Luz, que es reflejada como estímulo (3) a los ojos del observador (4). Después el ajuste del órgano de la vista como medio de Adaptación a la Intensidad, al Color de la Luz y al Contraste Simultáneo, y donde es producido para cada punto de la retina un código eléctrico. Ello es enviado por los nervios (5) al cerebro. De estos datos sin color está construido la imagen multicolor y tridimensional que ve el observador (6).

De la Luz hasta la Sensación del Color como conocimiento

La Luz

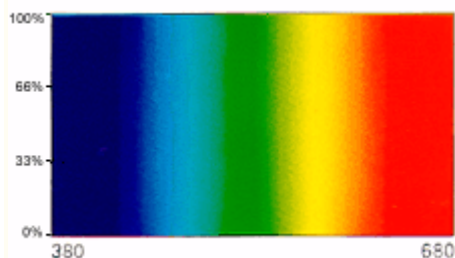
La Luz es radiación energética. Radiación energética es la oscilación de las diferentes ondas electromagnéticas. La frecuencia es la diferencia entre dos crestas. Existe una escala continua de radiación energética. Ellas van desde una fracción de un nanómetro hasta mil kilómetros: los rayos gama, rayos alfa, rayos x, luz, rayos de calor, televisión, radio, fuerza eléctrica. Estas radiaciones energéticas se diferencian solo en la longitud de sus ondas. Cada radiación energética en el área de 400 hasta 700 nanómetros se llama Luz, porque creemos ver. Pero en realidad al principio están registrados en nuestro Organismo de la Vista y cambiado en impulsos eléctricos por la fisiología de la visión.

Los rayos de la Luz son rayos energéticos incoloros. No existen colores en la Luz.

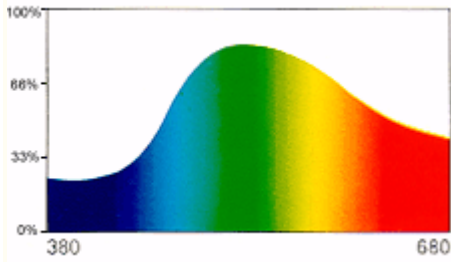
La Materia

Como sabemos la materia esta compuesto de átomos. Diferentes materiales se forman por allí porque diferentes átomos se juntan para crear moléculas. Depende de la Estructura Molecular el poder de absorción de una parte de la luz. El resto que no es absorbido es reflejado. Es posible decir también que es el resto de la Luz. Si este resto de la Luz entra en el ojo de un observador le llamamos estímulo.

También el estímulo es una radiación energética incolora.



Los rayos de la Luz del Sol que caen en una hoja verde.



Esta parte de la Luz reflejada como estímulo al ojo del observador. El estímulo es el "Resto de la luz".

El Estímulo

Las longitudes de las ondas en el espectro visible pueden estar representadas en diferentes intensidades. Esto se llama distribución espectral.

De la distribución espectral del estímulo depende el color que vemos.

Registro en el Ojo

El estímulo que viene del mundo exterior está proyectado por el Sistema Visual en la retina. Dentro de la retina se encuentran minúsculas células visuales que se llaman conos y bastoncillos.

Las células visuales cambian la energía eléctrica del estímulo en pulsos eléctricos fisiológicos y forman un código eléctrico.

Mecanismos de corrección del Órgano de la Vista

No existe una correlación fija entre el estímulo y el código visual. Porque en el órgano de la vista existen diferentes mecanismos de corrección. Ellos tienen la misión de adaptarse y ajustarse a las condiciones de iluminación y contemplación. Si existe una luminosidad intensa el iris del ojo se cierra para reducir la intensidad que ingresa al ojo. A esto se llama **Adaptación a la intensidad**. La adaptación a los valores espectrales se llaman **Adaptación al color de la Luz**. Cuando la percepción de un color cambia por sus colores vecinos, decimos **Contraste Simultáneo**. Solamente después de estas correcciones se forma el código fisiológico que crea la sensación del color.

Las vías nerviosas ópticas

Este código eléctrico es enviado a el cerebro mediante las vías nerviosas ópticas. Las células visuales en la retina tienen conexiones ganglionares complejas con el cerebro.

Para ser preciso también este código eléctrico es incoloro.

La Sensación del Color como conocimiento

Desde el momento que el código está en el cerebro, se produce la sensación de color. Por cada punto en la retina se produce un código que lleva a una correspondiente sensación de color. El órgano de la vista es un instrumento complejo y admirable. Porque de cada punto de la retina corre una fuerza continua de datos hacia el cerebro, que produce la imagen multicolor que vemos.

Hasta hoy nadie sabe cómo funciona esta correspondencia verdaderamente y cómo de estos datos el cerebro crea la imagen multicolor y tridimensional del mundo exterior.

¿Cuándo y porqué los colores cambian en su aspecto

Adaptación a la Intensidad

El Órgano de la vista en el desarrollo del tiempo se ha ajustado a las diferentes situaciones de la Luz. Las diferencias extremas de la Intensidad de la iluminación se logra por la Adaptación. Estas diferencias puede ser enormemente grandes. La intensidad máxima podría ser por ejemplo: al medio día cuando hace sol, en verano, en la cima de una montaña a 4000 mts. o en un estudio de televisión. La mínima intensidad podría ser por ejemplo en una cueva a la luz de una vela. Estas diferencias enormes solamente pueden lograrse porque la adaptación trabaja en proporción logarítmica. En los dos extremos que hemos considerado la orientación es correcta después de un tiempo de adaptación. Cada vez que se duplica la cantidad de luz, vemos como una diferencia mínima de luminosidad. Como funciona un diafragma de un aparato fotográfico que se cierra cuando la intensidad de la luz es fuerte o se abre cuando existe poca luz, se cierra o se abre también el iris del ojo. Y cuando este mecanismo de ajuste no es suficiente sigue un cambio de la sensibilidad del Sistema Visual.

La Adaptación a la Intensidad del Órgano de la Vista es la corrección para la Iluminación

Adaptación al color de la Luz

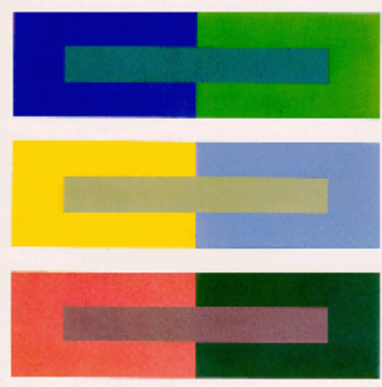
La luz de la iluminación puede estar compuesta de diferentes intensidades espectrales. Cuando el sol se encuentra cerca del horizonte por la tarde como una rodaja roja, predominan las ondas de longitud larga. Cuando el cielo esta encapotado por medio día en verano las ondas cortas son dominantes. Cuando la luz tiene diferentes intensidades espectrales, son diferentes tipos de luz. Es para decir que las intensidades de las ondas de la luz pueden ser muy diferentes. La luz del día puede presentar diferentes tipos de luz dependiendo del tiempo y de la posición del sol. Lo mismo sucede con la luz artificial. La luz de una bombilla eléctrica emite luz cálida, que es luz con predominancia de las longitudes de ondas largas. Una lámpara de Neón es al contrario y podría emitir luz fría, donde son predominantes las longitudes de onda corta. Entre los extremos de los tipos de luz existen todos los grados. La adaptación al color de la luz tiene la misión de reconocer siempre en forma óptima las diferencias entre los colores. Este hecho sucede para la adaptación de los diferentes conos de la retina que se ajustan al área del espectro a la que son sensibles.

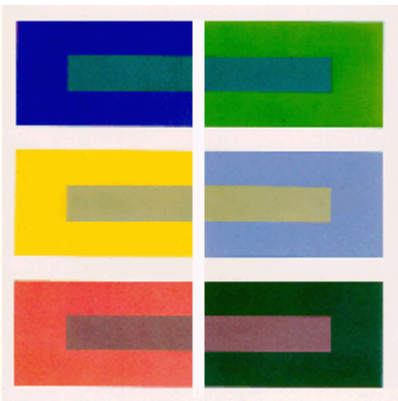
La Adaptación al color de la Luz es la adecuación del Organo de la Vista a la composición espectral del tipo de luz.

Contraste Simultáneo

Los colores también cambian su aspecto mediante la influencia de otros colores limítrofes. Les llamamos colores limítrofes. En el aspecto real de un color un pintor no puede reconocer observando como viene del tubo o como se presenta sobre su paleta. El aspecto de un color se presenta solamente cuando esta ubicado en el área final del cuadro por la influencia de los colores limítrofes. En el mecanismo del Organo de la Vista existe el poder de aumentar el contraste. Su misión es aumentar la sensación de las diferencias de color para tener una percepción más clara. Eso por ejemplo lleva a la consecuencia que el pintor necesita dos diferentes colores cuando quiere representar el mismo color en lugares con diferentes colores circundantes. Por otra parte podría ser posible usar el mismo color para producir dos sensaciones diferentes de color en lugares de diferentes colores limítrofes.

El Contraste Simultáneo es la habilidad del Organo de la Vista para cambiar los aspectos del color por la influencia de los colores limítrofes.



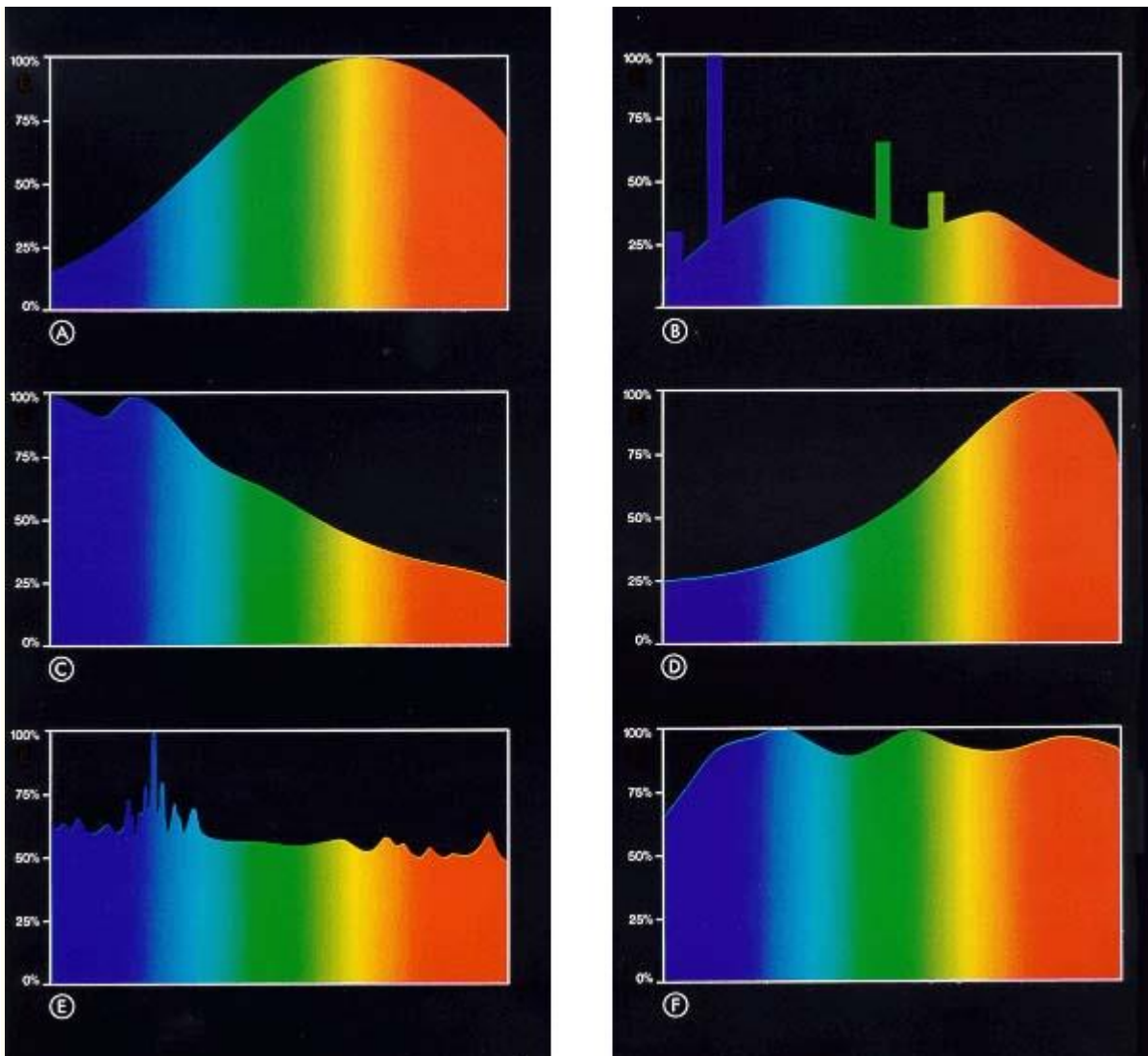


Cuando el aspecto de un color es cambiado por los colores limítrofes se llama "Contraste Simultáneo". Cada franja de color horizontal es del mismo color. Los colores circundantes cambian sus aspectos. Es fácil de hacer visible esta diferencia colocando en el medio una franja vertical de papel blanco. También es suficiente colocar delante del monitor un lápiz o una tijera cubriendo la línea media.

La influencia de la Iluminación

Hemos visto por la cadena de efectos entre la Luz y la Sensación de color que el material tiene un poder individual de reflejar una parte de la Iluminación. Es lógico que este poder solamente puede presentarse en total cuando los rayos que el material puede reflejar existen en la Luz. Cuando se ve un color de Azul-violeta con luz cálida que es luz mayormente de ondas largas se ve negro o gris oscuro. Porque este material tiene el poder de reflejar las ondas cortas de la luz, pero en esta iluminación las ondas cortas solamente existen en forma mínima. Por esta razón este color Azul-violeta no puede tener su aspecto, porque ondas que no existen en la luz no pueden ser reflejadas. Es por esta razón que se ha estandarizado la luz blanca para comparar colores por ejemplo un original y su reproducción. Son importantes las luces estandarizadas de D 50 y D 65! El tipo de luz D 50 (5000 Kelvin) es igual a la luz directa del sol. El tipo de luz D 65 (6500 Kelvin) es correspondiente al promedio de la luz del día en el medio de Europa. Casi ninguna persona tiene confianza en el color que ve cuando quiere comprar un vestido en una Boutique donde hay luz de halógeno. Normalmente se toma el vestido y se va por la calle o una ventana para ver como se presenta el color con la luz natural.

La composición espectral del tipo de la luz tiene influencia por el aspecto de los colores



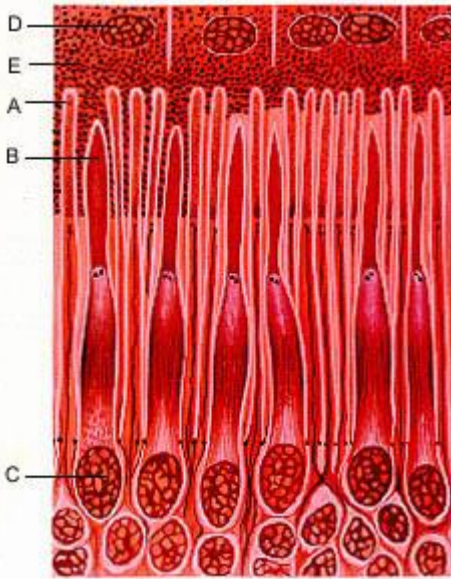
Nosotros vemos las diferentes intensidades de las ondas visibles de seis tipos de Luz. Se trata de las diferentes intensidades de las ondas en el espectro que están presentes en cada tipo de Luz correspondiente. En el cuadro (A) vemos el gráfico del espectro de una bombilla eléctrica, en (B) el gráfico del espectro de un tubo fluorescente de luz de día. En (C) es el espectro de luz de día natural como podría ser en verano por medio día. En (D) también tenemos luz de día cuando baja el sol en la tarde. En (E) es el espectro de una lámpara de Xenón y en F la luz de una lámpara para comparar colores de un tipo de luz D 50 que tiene una temperatura de color de 5000 Kelvin.

La función principal del Órgano de la Vista

Las células visuales

En la retina existen minúsculas células visuales (15.000 por milímetro cuadrado). Se llaman conos y bastoncillos. Hay una hipótesis que los bastoncillos tienen solamente la misión de ver diferencias de luminosidad. Al contrario Kueppers piensa que la misión de los bastoncillos es ajustar los procesos de corrección como Adaptación y Contraste Simultáneo. Hay tres diferentes tipos de conos que son sensibles para diferentes áreas del espectro. Un tipo reacciona por las ondas cortas, otro por las ondas medias y otro por las ondas largas. Estas células visuales son recolectoras de cuantos (partículas de energía de luz). Cada tipo de cono recoge cuantos de esta área de ondas porque es sensible a ella. Estos cuantos son datos eléctricos que el sistema visual los transforma en informaciones que son sensaciones de color.

Los rayos de luz son los portadores de datos que tienen referencia del aspecto y naturaleza del mundo exterior.



Corte transversal de la retina: Los bastoncillos (A), los conos (B), núcleos celulares de conos (C). La luz atraviesa primero el epitelio del pigmento (E) en la cual hay núcleos celulares (D).

El código

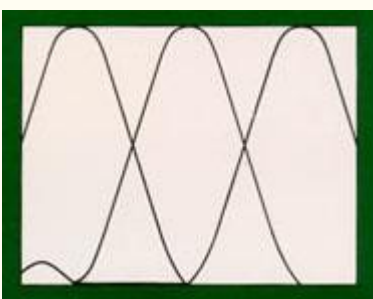
Para cada punto de la imagen de la retina existen tres tipos de conos que forman un código eléctrico fisiológico que está compuesto de tres partes. Este código es producido después de los procesos de corrección y de adaptación del órgano visual. Y está compuesto de un valor de este tipo de cono que es sensible a las ondas cortas, otro valor de cono que es sensible a las ondas medias y otro valor de cono a las ondas largas.

Para la misión de los conos existen también diferentes hipótesis. La Colorimetría hoy prefiere "La Teoría de los Colores Opuestos" que es la base del Sistema CIE-Lab. Después de las investigaciones de Kueppers esta teoría no puede explicar de ninguna manera el principio de función de la visión ni las leyes de las diferentes mezclas. Por esta razón no puede ser un aporte aceptable y didáctico para la enseñanza de los colores, ni para explicar las correlaciones físicas, fisiológicas y psicológicas de la visión.

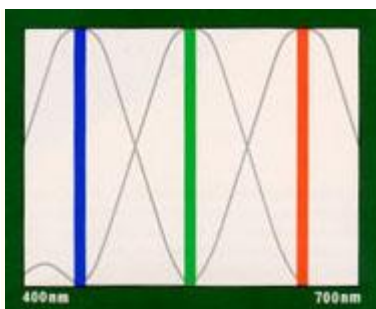
Entre el estímulo y la sensación de color no hay correlaciones fijas a causa de los procesos de corrección de la adaptación. Solamente existe una correlación fija entre el código y la sensación de color.



El espectro con intensidades equivalentes de la luz directa del sol



Esquema de las tres áreas de sensibilidad de los tres tipos de conos



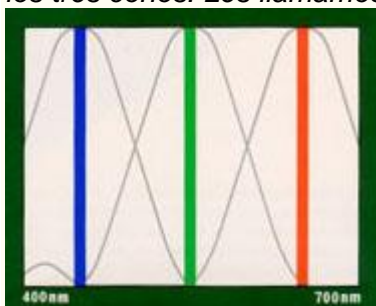
La percepción de color de los tres tipos de conos

Los tres Colores Fundamentales

El código compuesto de tres partes de cada punto de la imagen de la retina es enviado por los nervios al cerebro. Exactamente este código no tiene color, es incoloro y sólo es una señal eléctrica. Pero depende de ello la sensación de color que es producido en el cerebro del observador.

Por razón didáctica en la Enseñanza de colores de Kueppers está explicado de la siguiente manera: Por cada tipo de cono está referido una fuerza de sensación que llamamos Color Fundamental (Cf). Por el tipo de cono que reacciona a las ondas cortas está referido el Color Fundamental Azul-violeta (Cf Av). Porque cuando este tipo de cono es particularmente estimulado, se tiene la sensación de color Azul-violeta. Cuando solamente los rayos de onda media existen en el estímulo, el órgano de la vista reacciona con la sensación de color Verde (V), por esto hablamos aquí del Color Fundamental Verde (Cf Ve). Y al fin cuando solamente rayos de longitud de ondas largas caen en el tipo de cono correspondiente se produce la sensación de color Rojo-naranja que llamamos Color Fundamental Rojo-naranja (Cf Rn).

Describimos como los Colores Fundamentales las tres fuerzas de sensación que están relacionadas por los tres conos. Les llamamos Cf Av, Cf Ve y Cf Rn.








La percepción de color de los tres tipos de conos

Los ocho Colores Elementales

Hoy es aceptado por la comunidad científica del mundo el conocimiento de la existencia de estos tres tipos de conos (ver Colores Fundamentales) en la retina. Pero Kueppers de este hecho lleva a novedosas consecuencias. Porque hay estas tres fuerzas de sensación del sistema de la visión, es lógico que existen ocho sensaciones de colores extremos. Estas ocho sensaciones máximas de colores se llaman Colores Elementales (Ce). Son dados como resultado de la siguiente manera:

Colores Fundamentales	Colores Elementales	
No existe Cf	= Ce N	■
Cf Av	= Ce Av	■
Cf Ve	= Ce Ve	■

Cf Rn	= Ce Rn	
Cf Av + Cf Ve	= Ce Ac	
Cf Av + Cf Rn	= Ce Rm	
Cf Ve + Cf Rn	= Ce Am	
Cf Av + Cf Ve + Cf Rn	= Ce B	

En la enseñanza de la Teoría del color de Kueppers los ocho Colores Elementales tienen los nombres siguientes: Negro (N); Azul-violeta (Av); Verde (Ve); Rojo-naranja (Rn); Azul-cyan (Ac); Rojo-magenta (Rm); Amarillo (Am) y Blanco (B).

Las ocho posibilidades extremas de sensación del órgano de la vista son llamados Colores Elementales: Cf N; Cf Av; Cf Ve; Cf Rn; Cf Ac; Cf Rm; Cf Am; Cf B

El problema del nombre en los colores

Un observador de vista normal puede ver las diferencias entre 100.000 y un millón de matices. Depende del nivel de educación. Por ejemplo un hombre en su propio idioma normalmente conoce entre 2000 y 6000 palabras. En principio cada matiz donde se puede ver una diferencia en relación a otro, es otro color. Por esta razón es absolutamente imposible señalar matices con nombres precisos. No hay que sorprenderse que los pocos nombres de los colores en el idioma de cada día no son los nombres precisos y solo indican las diferentes áreas del color. Por ejemplo "pelo rojo" también es llamado rojo, como rojo es también un hombre "colorado". La yema de un huevo también se dice que es amarillo como un limón. También el cielo es azul como el traje de un piloto.

Pero hay otro problema: En diferentes industrias y en las ramas literarias son usados nombres iguales de colores para diferentes Colores Elementales. Existen industrias donde se dice Rojo y se piensa por Rojo-magenta y cuando dicen Azul se piensa por Azul-cyan. Estos son por ejemplo artistas, pedagogos de arte, impresores gráficos, pintores y muchos autores. Por otra parte físicos, en la Colorimetría, en la industria de computación piensan por Rojo-naranja cuando dicen Rojo y piensan por el color Azul-violeta cuando dicen Azul. Aquí nos encontramos en un dilema de idioma, porque existen dos Colores Elementales Rojo y dos Colores Elementales Azul. Y como parece imposible cambiar el uso en el idioma de cada día parece ser imposible también cambiar el uso de los nombres de los Colores Elementales en las diferentes industrias.

Cuando tomamos la Enseñanza del Color como ciencia, tenemos que hablar de una forma inequívoca y clara. En la industria de la computación son usadas hoy en todo el mundo las abreviaciones que vienen de la lengua inglesa "RGB" (red, green, blue). Cuando queremos aprender todas las correlaciones en la Enseñanza del Color, debemos aprender nombres nuevos. Por eso en la industria de la computación es necesario decir los nombres entre paréntesis con precisión por mnemotécnica.

Conceptos especiales empleados en la Teoría de Color de Kueppers

Concepto	Definición
Color primario	Este concepto se refiere a los colores iniciales de un proceso.

En la Mezcla Sustractiva se refiere a los Colores Elementales cromáticos Amarillo (Am), Rojo-magenta (Rm) y Azul-cyan (Ac) y el color de fondo Blanco (B).

En la Mezcla Aditiva se refiere a los Colores Elementales cromáticos Rojo-naranja (Rn), Verde (Ve) y Azul-violeta (Av) y el color de fondo Negro (N).

En la Mezcla Integrativa se refiere a todos los 8 Colores Elementales.

Color secundario

Este concepto se refiere a la mezcla de dos colores primarios.

Color terciario

Este concepto se refiere a la mezcla de tres colores primarios.

Color de fondo

Este concepto se usa únicamente para los colores de fondo acromáticos Blanco (B) y Negro (N) en la Mezcla Sustractiva y la Mezcla Aditiva.

En la Enseñanza del Color se debe aprender nombres de colores y términos de colores como palabras de un idioma extranjero.

Diferentes formas de apariencia del color

Siempre y exclusivamente el color es una sensación igual que el dolor que se siente cuando uno se pincha. La razón para la sensación del color es mayormente un estímulo físico que viene del mundo exterior y que es proyectada en la retina del ojo (excepción por ejemplo: el sueño). Pero este estímulo podría ser producido de diferentes maneras.

El estímulo puede caer en el ojo directamente de una fuente de luz o indirectamente reflejado o transmitido de un material para entrar en el ojo. En el caso que entra directamente al ojo llamamos Color de Luz o Luz Coloreada. Cuando viene de un material existen dos posibilidades extremadamente diferentes: podrían ser no transparente (opaco) o transparente (translúcido).

Las 11 Leyes de Mezcla de Colores

Las Leyes de Mezcla de colores son diferentes posibilidades de interpretación del Sistema de la visión. Siempre las Leyes de Mezcla son manipulaciones del Organismo de la Vista que tienen la misión de dar sensaciones concretas del color. Esta manipulación puede ser realizada en diferentes sitios de la cadena de efectos entre la luz y la sensación del color.

Kueppers hace la diferencia entre 11 Leyes de Mezcla de Colores de las cuales las Mezclas Aditiva, Sustractiva e Integrativa son las más importantes.

La Ley de la Mezcla Óptica se produce por la habilidad de la retina de no poder descomponer pequeños detalles. El reconocimiento de estos detalles depende de la medida de los conos y de los bastoncillos. Estructuras finas no pueden ser reconocidas solas. Las reflexiones de ellas se mezclan en la vista en un matiz unitario. Ejemplos: Diferentes hilos cromáticos en una tela que son vistos por una lupa no pueden

ser vistos solamente con el ojo. Como también la imprenta con tramas. Cuando existen mas de 60 líneas por centímetro no es posible de ver los puntos de trama solos.

La Ley de la Mezcla Rápida se produce por la lentitud de reacción de las células visuales. Cuando gira un disco con diferentes sectores cromáticos, ellos no pueden ser vistos particularmente cuando el disco tiene una cierta velocidad. Ejemplo: Una película en el cine parece presentar imágenes en movimiento porque el ojo no puede reconocer más que 24 imágenes solas por segundo

La Ley de la Mezcla Aditiva es una modulación directa del estímulo. Luces coloreadas de los tres Colores Elementales Rojo-naranja (Rn), Verde (Ve) y Azul-violeta (Av) afectan las células visuales directamente. Cada luz podría ser cambiada en la intensidad entre cero y 100 %. Necesariamente el color de base es el Color Elemental acromático Negro (N) porque tiene la misión de llenar todas las diferencias. De esta manera el órgano de la vista es provocado a producir la variedad de los colores. Ejemplo: Televisión (televisión cromática)

La Ley de la Mezcla Sustractiva se relaciona por la habilidad de absorción de materiales transparentes. Ahora necesitamos capas translúcidas en los tres colores elementales cromáticos Amarillo (Am), Rojo-magenta (Rm) y Azul-cyan (Ac), que son filtros coloreados. Como color de base se necesita el color elemental acromático Blanco (B), para llenar las diferencias. La variedad de los colores es producido ahora porque en cada capa de color, la cantidad puede ser variada entre cero y 100 %. Ejemplo: la fotografía cromática y el sistema de impresión con tres o cuatro colores.

La Ley de Mezcla Integrativa esta relacionada también por la habilidad del material de absorción. Pero ahora se trata de material opaco. Para esta Ley de Mezcla necesitamos los ocho Colores Elementales. Ahora tenemos que mezclar antes y entonces poner una capa de color opaco sobre un fondo. El color del fondo puede ser cualquiera porque la capa opaca es la reflectante. En esta Ley se practica el principio de Mezcla Acromática. Es decir todos los valores acromáticos son producidos por los Colores Elementales acromáticos Blanco y Negro. Colores elementales cromáticos son necesarios solamente para producir los valores cromáticos.

La Ley de la Mezcla Cromática se relaciona también al poder de absorción del material opaco pero solamente por los 6 Colores Elementales cromáticos. También aquí son mezclados primero para ser después pintados con una capa opaca. También aquí el color del fondo no tiene influencia ya que el fondo puede ser de cualquier color. Solamente ahora los valores acromáticos se realizan por las Mezclas Cromáticas, es decir por los colores complementarios que se neutralizan o apagan su cromaticidad unos a otros en valores acromáticos.

La Ley de la Mezcla Blanca y *la Ley de la Mezcla Negra* use complementan con la Ley de la Mezcla Acromática. Es decir por todo el Espacio del color (Romboedro). La Mezcla Blanca funciona con 4 Colores Elementales opacos B, Am, Rm y Ac. La Mezcla Negra necesita los otros 4 Colores Elementales Av, Ve, Rn y N. En estas dos Leyes de Mezcla los valores acromáticos son el resultado de mezclas cromáticas, es decir que colores cromáticos se neutralizan y anulan su cromaticidad para formar los valores acromáticos. Pero aquí también los colores acromáticos Negro y Blanco son el agregado necesario para aclarar u oscurecer los matices, lo que no es posible en la Mezcla Cromática.

La Ley de la Mezcla Gris necesita también los ocho Colores Elementales opacos. Pero aquí se agregan los colores auxiliares Gris-claro (Gc), Gris-neutro, Gn) y Gris -oscuro (Go). Junto con los dos Colores Elementales acromáticos tenemos aquí 5 colores acromáticos para mezclar. Esta Ley de Mezcla es el camino más seguro para mezclar matices y más económica para ahorrar pinturas caras cromáticas.

La Ley de la Mezcla de Colorantes es importante cuando se trata de colorear una masa de pintura blanca. Por ejemplo cuando un pintor quiere colorear un vaso lleno de pintura blanca. Para realizar esto necesita colorantes líquidos con los 6 Colores Elementales cromáticos Am, Rm, Ac, Av, Ve y Rn y el color acromático Negro (N).



La Ley de la Mezcla de Matices se relaciona para cualquier pintura opaca. Porque al fin es posible de mezclar cada matiz con cada matiz. Por cierto es lo que hacen los artistas cuando mezclan pinturas de sus tubos sobre sus paletas antes de poner el color en el cuadro.

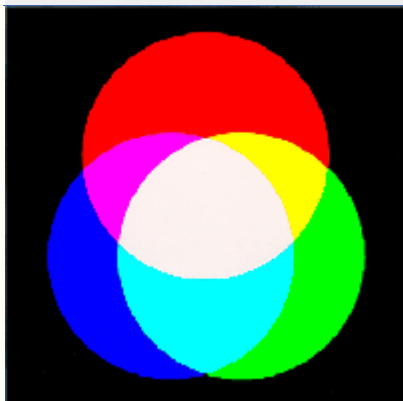
La Mezcla Aditiva

Son necesarias luces coloreadas con los tres Colores Elementales Rojo-naranja (Rn), Verde (Ve), y Azul-violeta (Av) que son ahora en esta Ley de Mezcla: Colores Primarios. Estos tres Colores Elementales son llamados en la industria de la computación RGB (Rojo, Verde y Azul). Como color base es necesario la existencia del Color Elemental acromático Negro (N), que tiene la misión de llenar todos los valores de diferencia. Para el monitor este negro esta representado por la oscuridad en la caja. Mientras tres luces coloreadas afectan el mismo punto de la retina en el mismo tiempo y son variables de intensidad entre cero y 100 % el órgano de la vista puede crear todas las sensaciones de color. Ejemplo: Televisión

cromática. En el idioma sería lógico hacer la diferencia entre televisión acromática y cromática y no entre blanco y negro por una parte y color por otro.

Las ocho sensaciones extremas del color se originan de la siguiente manera:

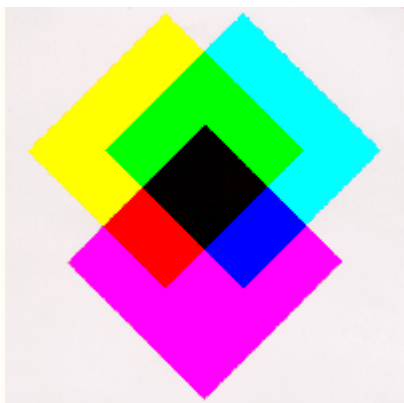
Colores Aditivos Elementales	Sensación de color	
No existe	= N	
AddCe Av	= Av	
AddCe Ve	= Ve	
AddCe Rn	= Rn	
AddCe Av + Ve	= Ac	
AddCe Av + Rn	= Rm	
AddCe Ve + Rn	= Am	
AddCe Av + Ve + Rn	= B	



De los 4 Colores Elementales Aditivos Rn, Ve, Av y N se forman en cooperación de los luzes coloreados los 4 Colores Elementales B, Am, Rm y Ac.

La Mezcla Sustractiva

En comparación con la Mezcla Aditiva la Mezcla Sustractiva tiene lugar en un sitio anterior (área del material) en la cadena de efectos entre la luz y la sensación de color. Se relaciona por el poder de absorción del material translúcido. Necesitamos capas con los tres Colores Elementales Sustractivos (SusCe) Amarillo (Am), Rojo-magenta (Rm) y Azul-cyan (Ac). El color Blanco (B) es necesario como color base para llenar las diferencias. El Color Elemental Blanco esta representado en la proyección de diapositivas (diapositivas cromáticas) de la luz blanca. En la impresión multicolor y en las pinturas a la acuarela el Color Elemental Blanco esta representado por el papel blanco.



De los 4 Colores Elementales Sustractivos B, Am, Rm, y Ac tres son capas transparentes que colaboran para originar los otros 4 Colores Elementales Rn, Ve, Av y N.

Cada capa cromática transparente tiene la misión de absorber en una área del espectro. Para de esta manera activar la fuerza referente de sensación. Depende de la cantidad de material cromático en un punto del cuadro, cuánto es absorbido en la capa cromática referente. La capa amarilla absorbe las ondas cortas del espectro, la capa rojo-magenta absorbe las ondas medias y la capa Azul-cyan absorbe las ondas largas. De esta manera la capa amarilla maneja la fuerza de sensación Azul-violeta, la capa Rojo-magenta maneja la fuerza de sensación Verde y la capa Azul-cyan maneja la fuerza de sensación Rojo-naranja

La parte de la luz que no es absorbida es translúcida. Los rayos de luz que pasan por un punto de la imagen atraviesan las tres capas cromáticas transparentes una después de la otra. Porque las capas son transparentes tienen lugar las diferentes absorciones sucesivamente equivalentes a la cantidad de color en cada capa. Esta parte de la luz restante después de pasar las tres capas transparentes cae como estímulo directamente en el ojo del observador o es reflejado del fondo del papel blanco. Porque en cada capa la absorción puede variar entre cero y 100 %. También aquí es posible provocar en el órgano de la visión la multitud de los colores.

Las 8 sensaciones extremas que son los 8 Colores Elementales se originan en la Mezcla Sustractiva de la siguiente manera:

Colores Elementales Sustractivos	Sensación de color	
No hay	= B	
SusCe Am	= Am	
SusCe Rm	= Rm	
SusCe Ac	= Ac	
SusCe Am + Rm	= Rn	
SusCe Am + Ac	= Ve	
SusCe Rm + Ac	= Av	
ASusCe Am + Rm + Ac	= N	














La Mezcla Integrativa

Kueppers ha descubierto y formulado la Ley de la Mezcla Integrativa. Esta mezcla está relacionada por el material opaco y por la posibilidad que se da de crear valores acromáticos solamente por parte de los Colores Elementales acromáticos Blanco y Negro. Este principio se llama Mezcla Tipo Acromático,

En la Mezcla Integrativa la multitud de los colores no se origina de tres Colores Elementales cromáticos donde los valores de diferencia son llenados por los dos Colores Elementales Blanco y Negro como en la Mezcla Aditiva y la Mezcla Sustractiva. Para manejar la Mezcla Integrativa son necesarios los 8 Colores Elementales en forma de material opaco. Porque ninguno de estos colores puede originarse por mezcla de otros Colores Elementales. (Algo diferente a esto enseñado, aprendido o escrito es falso, como es demostrable).

El principio de la Mezcla Integrativa es el cambio de cantidades. Siempre tenemos una sola capa de color opaco que puede representar cada matiz. Esta capa opaca en la Mezcla Integrativa puede estar compuesta nunca más que de cuatro partes. Pero en principio cada matiz tiene un valor acromático y un valor cromático. Y el valor acromático aquí siempre está compuesto de partes de los dos Colores Elementales Blanco y Negro. El valor cromático puede estar compuesto de partes de dos Colores Elementales cromáticos vecinos.

Lógicamente de esta situación solamente son posibles 6 grupos de Colores Elementales que pueden colaborar:

B, Am, Rn, N				
B, Rn, Rm, N				
B, Rm, Av, N				
B, Av, Ac, N				
B, Ac, Ve, N				
B, Ve, Am, N				

Este principio de Mezcla Acromática es económica, porque no es necesario de gastar en pinturas cromáticas caras para formar valores acromáticos, es decir cantidades de grises. También es posible encontrar el color de un matiz mezclando con mayor seguridad. Naturalmente es necesario decir que cada pintura negra no puede ser tomada para esta mezcla. Porque la pintura elegida no debería tener componentes de hollín, porque otra vez el matiz mezclado va a tener un aspecto sucio y desagradable. Esta pintura negra solamente tiene que hacer la mezcla más oscura, por esta razón tiene que ser una pintura producida de pigmentos y no de hollín.

El orden matemático del Color

El Sistema del Código de los Colores Fundamentales









Cuántos colores existen? Un observador que tiene la sensibilidad para los colores puede ver diferencias mas o menos entre 100.000 matices de color. En ningún caso es posible que un hombre pueda ver diferencias de más de un millón de colores, por eso no tiene sentido de contar con mas que esta cifra.

El Sistema del Código de los Colores Fundamentales tiene un millón de posibilidades para nominar colores, cada uno tiene un código de 6 cifras, por ejemplo "25 75 50". Tenemos tres grupos de dos cifras

donde cada uno de los grupos se relaciona por una fuerza de sensación que hemos llamado Color Fundamental (Cf). El primer grupo tiene el valor para el Color Fundamental Azul-violeta (Cf Av), el segundo grupo tiene el valor para el Color Fundamental Verde (Cf Ve) y el tercer valor para el Color Fundamental Rojo Naranja (Cf Rn).

La secuencia en el sistema de código de los Colores Fundamentales entonces no es RGB (Rn, Ve y Av) pero es BGR (Av, Ve y Rn). La razón para esto es el hecho, que en todos los dibujos científicos del espectro los rayos de ondas cortas están ubicados por el lado izquierdo y las ondas largas por el lado derecho. Porque tenemos costumbre de leer de izquierda a derecha esta secuencia parece lógica.

Kueppers divide cada una de las fuerzas de sensación, es decir cada Color Fundamental, en 99 pequeños paquetes de energía que son usados para calcular y que se llaman cuantos de sensación. De esta manera tenemos 100 valores de cero hasta 99. Lógicamente para los ocho Colores Elementales tenemos los siguientes Códigos de los Colores Fundamentales:

Cf Av	Cf Ve	Cf Rn	Colores Elementales
00	00	00	= N 
99	00	00	= Av 
00	99	00	= Ve 
00	00	99	= Rn 
99	99	00	= Ac 
99	00	99	= Rm 
00	99	99	= Am 
99	99	99	= B 

Cada uno de los Códigos de Colores Fundamentales (CCf) describe una sensación posible y al mismo tiempo un punto geométrico en el Espacio del color (Romboedro) que será explicado posteriormente. El CCf "25 75 50" por ejemplo indica que en la Cf Av son activados 25 cuantos de sensación en el CCf Ve 75 cuantos y en CCf Rn 50 cuantos de sensación. De este CCf se pueden calcular todas las correlaciones y relaciones de un matiz.

Del Código de Color Fundamental se puede calcular el código de Color Elemental, es decir cuantas componentes de los 8 posibilidades extremas de sensación cooperan para formar un matiz en el sistema visual. De la misma manera se puede determinar la fórmula para la Mezcla Integrada, es decir los componentes de los Colores Elementales que son necesarios para mezclar pinturas opacas. Y además se puede calcular de este código las cuatro "Características de Calidad" de este matiz.

El Sistema del Código de los Colores Elementales

El mismo potencial en los tres Colores Fundamentales conducen a la sensación acromática Blanca (B). También los mismos potenciales de dos Colores Fundamentales crean sensaciones cromáticas de Amarillo (Am), Rojo-magenta (Rm) y Azul-cyan (Ac). Los potenciales de un solo Color Elemental dan valores para las sensaciones cromáticas Azul-violeta (Av), Verde (Ve) y Rojo-naranja (Rn). Y esta

diferencia entre el mayor valor en el matiz y el mayor valor posible (99) da el valor para la sensación acromática Negra (N). Esto se puede calcular de la manera siguiente:

Colores Fundamentales Av Ve Rn	Colores Elementales
25 25 25	= W 25
00 25 25	= Y 25
00 25 00	= G 25
00 00 00	= S 24
-----	-----
25 75 50	= 99 componentes de cantidad
(CCf)	

En la manera descrita aquí se puede calcular de cada uno de los Códigos de Colores Fundamentales (CCf) los componentes de los Colores Elementales que son necesarios para mezclar pinturas opacas. Siempre tenemos 99 componentes de cantidad por un matiz que es igual a la cantidad matemática 1 ó 100 %. Aquí se trata siempre de una sola capa opaca de color donde el color del fondo no tiene efecto. Aquí no existen diferencias porque tenemos siempre esta capa del color opaca.

De un Código de Color Fundamental se pueden tomar como máximo cuatro cantidades parciales como componentes para mezclar un matiz. Esto fue demostrado mas claramente líneas arriba. Cuando tenemos cuatro componentes siempre hay cantidades de los dos colores acromáticos Blanco y Negro para crear el valor acromático. El valor cromático está formado de cantidades parciales de dos Colores Elementales vecinos. Naturalmente un Código de Color Fundamental podría también ser compuesto por tres o dos, o incluso una sola parte de Color Fundamental. Si solamente hay una parte se trata de un Color Elemental puro.

Cálculo de los componentes de mezcla

Si queremos disponer que el órgano de la vista produzca la sensación "25 75 50" para la Mezcla Aditiva, necesitamos en las tres luces cromáticas intensidades que produzcan las sensaciones de los Colores Fundamentales (Cf) Av 25, Cf Ve 75 y Cf Rn 50.

Nos recordamos que en la Mezcla Sustractiva en la capa transparente Amarilla (Am) están absorbidas solamente las ondas cortas y las restantes activan el Cf Azul-violeta (Av). La capa transparente Rojo-magenta (Rm) absorbe las ondas medias y activa solamente para los rayos restantes el Color Elemental Verde (Ve) y de la misma manera en la capa transparente Azul-cyan (Ac) son absorbidas las ondas largas y las restantes activan el Color Elemental Rojo-naranja (Rn). Es decir que en la capa transparente Amarilla tienen que ser absorbidas las cantidades de ondas cortas necesarias para lograr en el Cf Azul-violeta 25 cuantos de sensación. La capa transparente del color Rojo-magenta tiene que absorber las cantidades de las ondas medias porque las rayos tienen que activar 75 cuantos de sensación del Cf Verde. Y en la capa transparente del color Azul-cyan es absorbida la cantidad de los rayos de las ondas largas para que las ondas transmitidas puedan producir 50 cuantos de sensación del Cf Rojo-naranja.

99 99 99
25 75 50

74 24 49
Am Rm Ac

Haciendo la diferencia entre el Código del Color Fundamental (CCf) "99 99 99" (luz blanca) y nuestro matiz de CCf "25 75 50" encontramos los valores para la Mezcla Sustractiva para las tres capas de colores cromáticos transparentes necesarios.

En la capa transparente Amarilla necesitamos 74 partes de cantidad, en la capa transparente Rojo-magenta necesitamos 24 partes de cantidad y en la capa transparente Azul-cyan necesitamos 49 partes de cantidad para activar en el órgano de la vista a producir la sensación "25 75 50".

Si queremos producir la sensación "25 75 50" para la Mezcla Integrativa es decir para la mezcla de pinturas opacas necesitamos (ver esquema anterior) 25 partes de cantidad del Color Elemental acromático Blanco, 25 del Color Elemental cromático Amarillo, 25 del Color Elemental cromático Verde y 24 del Color Elemental acromático Negro. Pero ahora tenemos que mezclar antes y poner una sola capa opaca sobre la superficie del material. Esta única capa de pintura opaca siempre representa la cantidad matemática 1 como también 100 %. Por esta razón siempre necesitamos 99 partes de cantidad para la Mezcla Integrativa, independientemente si mezclamos cuatro, tres o dos Colores Elementales o si necesitamos solamente un Color Elemental.

Las cuatro Características de Calidad del Color

Como fue explicado anteriormente es posible calcular de los Códigos de los Colores Fundamentales los Códigos de los Colores Elementales para cada matiz. Y de estos Códigos de Colores Elementales resultan las cuatro Características de Calidad del Color que pueden ser llamadas también "Características visuales" o "Características del Aspecto del Color". Las cuales son: Tipo Acromático, Tipo Cromático, Grado Cromático (o viceversa Grado Acromático) y Luminosidad.

Para el matiz de la CCf "71 56 14" tenemos el siguiente cálculo:

Colores Fundamentales Av Ve Rn	Colores Elementales
14 14 14	= W 14
42 42 00	= C 42
15 00 00	= V 15
00 00 00	= S 28
-----	-----
71 56 14 (CCf)	= 99 componentes de cantidad

Tipo Acromático

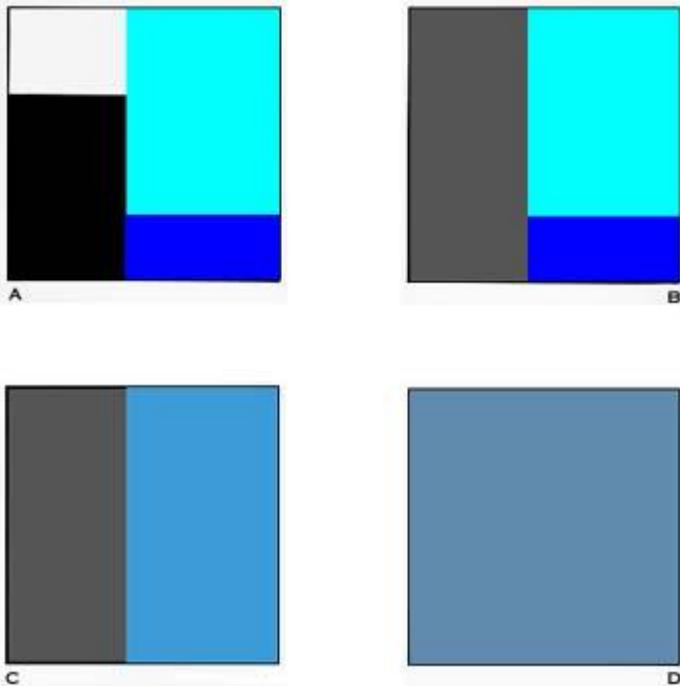
En este matiz "71 56 14" la cantidad acromática está compuesta de las dos partes de cantidad B 14 y N 28. La relación de mezcla de Blanco a Negro es de 1:2. Esta relación de mezcla define el Tipo Acromático, que es en este caso un Gris-oscuro que se obtiene cuando es mezclado una parte de Blanco con dos partes de Negro. Este característica ha introducido en la Enseñanza del Color Harald Kueppers.

Tipo Cromático

La Cantidad Cromática en este matiz está compuesta de Ac 42 y Av 15. Es la relación de mezcla de Ac por Av como 3:1. Esto define el Tipo Cromático de matiz. Y es un matiz que está localizado entre Azul-cyan y Azul-violeta que es obtenido para mezcla 3 partes de Azul-cyan con una parte de Azul-violeta.

Grado Cromático o respectivamente Grado Acromático

Cuando se hace la adición de las partes de Cantidad Acromática lleva a 42 partes de Cantidad Acromática. La adición de las dos partes de Cantidad Cromática lleva a 57 partes de Cantidad Cromática. La relación de mezcla de estas dos conjunciones de partes de cantidades define el Grado Cromático o Acromático de un matiz. Cuando queremos definir la Cantidad Acromática del matiz describimos como Grado Acromático. Grado Cromático y Grado Acromático juntos llevan siempre a 99 partes de cantidad respectivamente 100 %. Aquí se trata de valores recíprocos, son como los lados de una misma moneda en este caso el mismo matiz del color. En nuestro matiz "71 56 14" tenemos entonces un Grado Cromático de 57 % y un Grado Acromático de 42 %.



Estas relaciones son demostradas en el cuadro superior. En el pequeño cuadrado (A) representa el matiz que está compuesto de partes de cantidad de los cuatro Colores Elementales B, N, Ac y Av. En el pequeño cuadro (B) vemos como las cantidades de B y N forman juntos la Cantidad Acromática. La relación de las dos partes de Cantidad Acromática determinan el Tipo Acromático. De las partes de cantidad de Ac y Av en el cuadro (C) se origina la Cantidad Cromática. La relación de las dos partes de Cantidad Cromática determinan el Tipo Cromático. De la relación entre la Cantidad Cromática y la Cantidad Acromática se determina el Grado Acromático y respectivamente el Grado Cromático. Finalmente el cuadro (D) tiene que simbolizar que todas las cuatro partes de cantidad juntos forman este matiz "71 56 14" que nos da la impresión de un solo color.

Luminosidad

La cuarta característica de calidad es la Luminosidad del matiz. Este parámetro es el único de las cuatro características de calidad que está dispuesto en forma asimétrica en el Espacio del Color. No es posible la simetría por esta razón ya que los cuatro colores elementales tienen diferentes Luminosidades. Y la Luminosidad de un matiz es el producto de la Luminosidad de los Colores Elementales participantes y de sus cantidades parciales que juntos forman la mezcla.

Como hemos visto no se trata de tres Características de Calidad como fue enseñado y escrito en la literatura (Tono, Valor y Saturación), pero si de cuatro Características de Calidad que son llamadas en la nueva Teoría de Colores de Kueppers con los nombres inequívocos y claros: **Tipo Cromático, Tipo Acromático, Grado Cromático** respectivamente **Grado Acromático y Luminosidad**.

El orden Geométrico del Color

Los sistemas de orden unidimensionales

La recta de los diferentes Tipos Acromáticos

Encontramos el orden lógico y sistemático de todos los Tipos Acromáticos en la Recta de los diferentes Tipos Acromáticos. Podríamos llamar prácticamente la "Recta Tipo Acromática" (ver imagen). Los dos Colores Elementales B y N forman los dos puntos extremos de la recta y entre ellos todos los Grises están ordenados en forma lógica porque son todas las mezclas posibles de estos dos Colores Elementales acromáticos.



La Recta Tipo Acromática (Recta de los diferentes Tipos Acromáticos) con los dos Colores Elementales Blanco y Negro en los extremos.

El Hexágono de los diferentes Tipos Cromáticos

El orden lógico y sistemático de todos los Tipos Cromáticos está en el Hexágono de los diferentes Tipos Cromáticos. Podríamos llamar prácticamente "El Hexágono Tipo Cromático" (ver el cuadro de abajo). Los seis Colores Elementales cromáticos están las esquinas del Hexágono. En la línea recta entre dos esquinas de dos Colores Elementales cromáticos se encuentran todas las mezclas posibles de estos dos Colores Elementales en orden lógico. En un concepto geométrico este hexágono está compuesto de seis líneas rectas. Este hexágono es la ordenaciones de todos los Colores Cromáticos puros es decir de todos los Tipos Cromáticos.



El Hexágono Tipo Cromático (Hexágono de los diferentes Tipos Cromáticos) con los seis Colores Elementales cromáticos en las seis esquinas.

Los sistemas de orden bidimensionales

El Triángulo del mismo Tipo Cromático

Para todos los matices del mismo Tipo Cromático encontramos el orden lógico y sistemático cuando mezclamos un solo Tipo Cromático con todos los Tipos Acromáticos. Y de esta manera tenemos el plano del Triángulo con las esquinas Blanco, Negro y del Tipo Cromático elegido. Llamamos "Triángulo del mismo Tipo Cromático" o prácticamente "Triángulo Tipo Cromático". El cuadro demuestra el Triángulo Tipo Cromático en el que todos los matices en la Cantidad Cromática tienen solamente el Color Elemental Verde (Ve). Este Tipo Cromático fue mezclado con diferentes Tipos Acromáticos elegidos.



El Triángulo del mismo Tipo Cromático del Color Elemental Verde.

El Hexágono del mismo Tipo Acromático

El orden lógico y sistemático para todos los matices que tienen el mismo Tipo Acromático se realiza cuando mezclamos un solo Tipo Acromático con todos los Tipos Cromáticos. Para proceder ponemos el Tipo Acromático al medio del Hexágono de todos los Tipos Cromáticos y mezclamos sistemáticamente este Tipo Acromático con todos los Tipos Cromáticos. De esta manera tenemos la figura del Hexágono del mismo Tipo Acromático. Podríamos decir prácticamente "Hexágono Acromático". El Hexágono para el Tipo Acromático Blanco está representado en la figura del cuadro. En este caso la Cantidad Acromática de cada matiz de este Hexágono está representada solamente del Tipo Acromático Blanco. El Hexágono Tipo Acromático fue introducido en forma nueva por Harald Kueppers en la Teoría del Color.



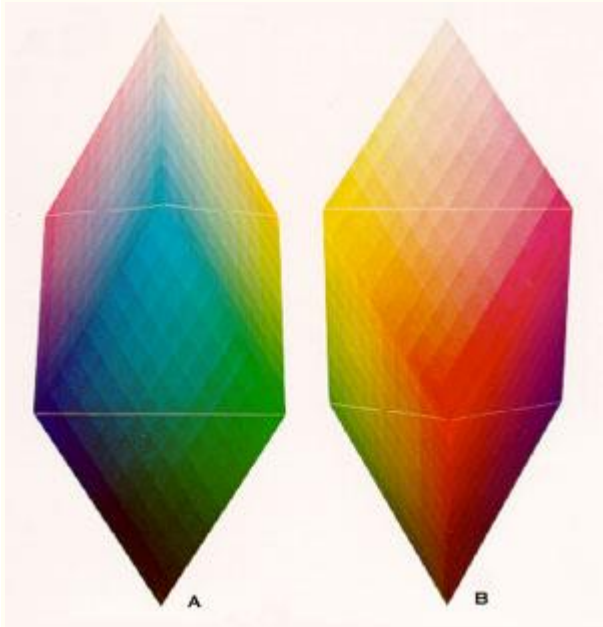
Hexágono del mismo Tipo Acromático del Color Elemental acromático Blanco

Los sistemas de orden tridimensional

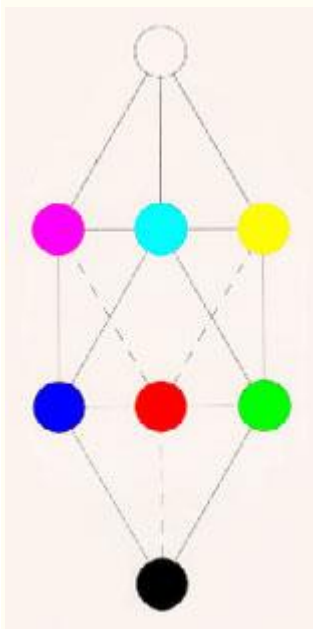
No es posible presentar la mezcla lógica y sistemática de todos los Tipos Cromáticos y todos los Tipos Acromáticos en un plano. Para realizar esto son necesarios tres dimensiones es decir un "Espacio de Color" o un "Cuerpo de Color".

El Espacio del Color - Romboedro

Kueppers describe el Sistema del Romboedro como espacio ideal del Color. Se trata de un modelo consecuente de vectores. Estos tres vectores son las tres fuerzas de sensación del órgano de la vista, es decir los tres Colores Fundamentales. Ellos comienzan en la esquina inferior del Romboedro (punto negro) y tienen ángulos de 60 grados entre ellos. Este modelo funciona por la Ley del Paralelogramo de fuerzas. Por eso cada matiz que es una sola sensación de color tiene su lugar geométrico como punto en el Espacio del Color. Cada punto está definido exactamente por los tres valores de los tres Colores Fundamentales. En el cuadro izquierdo el Espacio del Color - Romboedro está girado en B 180 grados en comparación de A. En el cuadro derecho están representados los ocho Colores Elementales en las esquinas del Romboedro.



El Espacio del Color-Romboedro girado: en B 180 grados en comparación de A.

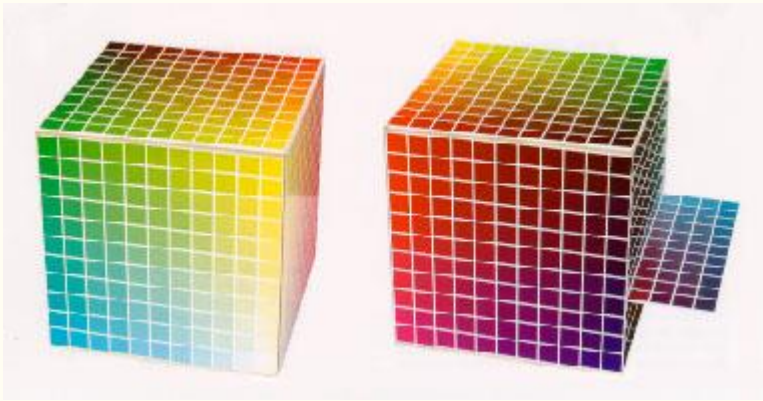


El ordenamiento de los ocho Colores Elementales en las ocho esquinas en el Espacio del Color-Romboedro.

Espacio del Color - Cubo

Otro espacio interesante del color es el Cubo. Se realiza cuando los ángulos de los vectores que empiezan por el punto negro tienen 90 grados. El cubo es un concepto valorable y didáctico porque su orden en el espacio geométrico tiene ángulos rectos. Por esto es de comprensión más fácil. Todos los planos seccionados en forma paralela por los planos exteriores son cuadrados. Esto tiene la ventaja de poder

realizar el orden de los colores en este espacio en tablas de color de forma cuadrada. Por esto se puede producir fácilmente un Atlas de los Colores con estas tablas.



Der El Espacio del Color-Cubo: El Cubo a la derecha está girado en comparación del de la izquierda 180 grados.