

**Die Wirkungen des Einsatzes von
Vollspektrumlicht**
**Ein empirischer und theoretischer Beitrag
zur Gesundheitsökonomie**

Diplomarbeit

zur Erlangung des Grades

einer Magistra der Sozial- und Wirtschaftswissenschaften der
Studienrichtung Umweltsystemwissenschaften - Volkswirtschaftslehre an der
Karl-Franzens-Universität Graz

eingereicht bei:

o. Univ.-Prof. Dr. Stefan Schleicher

Institut für Volkswirtschaftslehre und Volkswirtschaftspolitik

eingereicht von:

Caroline Vogl

Graz, im Februar 1999

Inhaltsverzeichnis

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	I
1 EINLEITUNG.....	1
2 EINIGE ASPEKTE ZUR GESUNDHEITSÖKONOMIE	2
2.1 Der Begriff der Gesundheit.....	2
2.2 Das Gesundheitssystem und seine Probleme.....	5
2.2.1 Darstellung des heutigen Gesundheitssystems	5
2.2.2 Grenzen des heutigen Gesundheitssystems: Eine Chance für Prävention.....	7
2.2.3 Hindernisse für die Prävention	10
2.2.4 Ausgewählte Beispiele für Präventionsmaßnahmen.....	13
2.3 Beiträge der Gesundheitsökonomie zur Lösung der Probleme des Gesundheitswesens	14
2.3.1 Anwendungsbereiche der Gesundheitsökonomie	14
2.3.2 Gesundheit als Gut: Besonderheiten und Strategien	15
2.3.3 Evaluation von Gesundheitsmaßnahmen	19
2.3.3.1 Allgemeine Bemerkungen	19
2.3.3.2 Arten der ökonomischen Evaluation	20
2.3.3.3 Grenzen der Evaluation	22
3 PHYSIKALISCHE UND PHYSIOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUM THEMA LICHT	23
3.1 Licht und Gesundheit.....	23
3.1.1 Allgemeine Grundlagen.....	23
3.1.2 Der Sehvorgang.....	26
3.1.3 Biologische Wirkungen des natürlichen Lichts.....	29
3.1.3.1 Allgemeine Einführung	29

3.1.3.2 Wirkungen des Lichts auf verschiedene Körperfunktionen des Menschen.....	31
3.1.3.3 Lichttherapie.....	34
3.1.4 Künstliches Licht.....	37
3.1.4.1 Definition von Kunstlicht	37
3.1.4.2 Vollspektrumlicht und elektronische Vorschaltgeräte	39
3.1.4.3 Negative Auswirkungen von Kunstlicht auf den menschlichen Organismus.....	40
3.1.5 Untersuchungen des Lichteinflusses auf Schüler in der Literatur.....	41
3.2 Theoretische Grundlagen zu einigen untersuchten Parametern	43
4 DIE EXPERIMENTELLE UNTERSUCHUNG VON LICHTEINFLÜSSEN AUF DEN MENSCHEN.....	46
4.1 Aufgabenstellung	46
4.2 Methodik.....	46
5 VERSUCHSAUFBAU	49
5.1 Ort und Probanden der Untersuchung	49
5.2 Licht.....	49
5.3 Zeitablauf.....	51
5.4 Parameterbeschreibung.....	53
5.4.1 Allgemeine Vorbemerkungen	53
5.4.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz	53
5.4.2.1 Allgemeine Bemerkungen	53
5.4.2.2 Durchführung der Messungen	54
5.4.3 Fehlstunden.....	54
5.4.4 Karieshäufigkeit	55
5.4.5 Lärmpegel.....	55
5.4.5.1 Allgemeine Bemerkungen	55
5.4.5.2 Gerätedaten.....	56
5.4.6 Sehvermögen	57
5.4.6.1 Allgemeine Bemerkungen	57

5.4.6.2 Fern-, Nah- und Kontrastsehtest	57
5.4.6.3 Stereosehtests	58
5.4.6.4 Akkommodations-Test	59
5.5 Statistische Auswertungen.....	59
6 DARSTELLUNG DER ERGEBNISSE	61
6.1 Darstellungsform	61
6.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz.....	61
6.2.1 Blutdruck	61
6.2.2 Puls	65
6.2.3 Atemfrequenz	66
6.3 Fehlstunden	67
6.4 Karieshäufigkeit.....	67
6.5 Lärmpegel	68
6.5.1 Allgemeine Auswertungen	68
6.5.2 Stunden.....	69
6.5.3 Pausen.....	69
6.6 Sehvermögen	70
6.6.1 Allgemeine Bemerkungen.....	70
6.6.2 Fernsehtest.....	70
6.6.2.1 Ohne Korrektur.....	70
6.6.2.2 Mit Korrektur.....	72
6.6.3 Nahsehtest	73
6.6.3.1 Ohne Korrektur.....	73
6.6.3.2 Mit Korrektur.....	75
6.6.4 Kontrastsehtest	77
6.6.4.1 Ohne Korrektur.....	77
6.6.4.2 Mit Korrektur.....	77
6.7 Stereosehtest - „Ringe“	78
6.7.1 Akkommodation.....	78
6.7.1.1 Alter	78
6.7.1.2 Dioptrien.....	79

7 DISKUSSION DER ERGEBNISSE	80
7.1 Allgemeine Bemerkungen	80
7.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz	80
7.3 Fehlstunden	81
7.4 Karieshäufigkeit	81
7.5 Lärmpegel	82
7.6 Sehvermögen	82
7.7 Problembereiche	83
7.8 Ausblick	85
8 UMWELTRELEVANTE WIRKUNGEN DES EINSATZES VON VOLLSPEKTRUMLAMPEN UND ELEKTRONISCHEN VORSCHALTGERÄTEN	86
8.1 Kostenbetrachtungen	86
8.1.1 Verminderung des Energieverbrauchs	86
8.1.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung des EVG-Einsatzes	88
8.2 Emissionsbetrachtungen	90
8.3 Abfallbetrachtungen	90
9 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUSSBEMERKUNGEN	91
Literaturverzeichnis	94
ANHANG	

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

	Seite
Tab. 1: Spektren der elektromagnetischen Strahlung	24
Tab. 2: Schema des zeitlichen Ablaufs der Untersuchung	48
Tab. 1: Wirkungsbezogene Immissionswerte	44
Tab. 2: Zuordnung der Lichtarten in den jeweiligen Phasen zu den Klassen	50
Tab. 3: Überblick über die zeitliche Abfolge der einzelnen Phasen und Untersuchungen	52
Tab. 4: Mittelwerte der Differenzen „Systole - alle SchülerInnen“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	62
Tab. 5: Mittelwerte der Differenzen „Diastole - alle SchülerInnen“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	62
Tab. 6: Mittelwerte der Differenzen „Systole innerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	63
Tab. 7: Mittelwerte der Differenzen „Diastole innerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	64
Tab. 8: Mittelwerte der Differenzen „Systole außerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	64
Tab. 9: Mittelwerte der Differenzen „Diastole außerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	65
Tab. 10: Mittelwerte der Differenzen „Puls“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung	65

Tab. 11: Mittelwerte der Differenzen „Atemfrequenz“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung.....	66
Tab. 12: Mittelwerte der Differenzen „Fehlstunden“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts.....	67
Tab. 13: Mittelwerte der Differenzen „Karieshäufigkeit“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts.....	67
Tab. 14: Mittelwerte der Lärmpegel in den einzelnen Untersuchungseinheiten (Stunden bzw. Pausen) in Abhängigkeit von der Klasse und den verschiedenen Phasen	68
Tab. 15: Mittelwerte der Differenzen „Lärmpegel in den Stunden“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	69
Tab. 16: Mittelwerte der Differenzen „Lärmpegel in den Pausen“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	69
Tab. 17: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular rechts ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	70
Tab. 18: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular links ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	71
Tab. 19: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest binocular ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	71
Tab. 20: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular rechts mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	72
Tab. 21: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular links mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	72
Tab. 22: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest binocular mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	73
Tab. 23: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular rechts ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	74
Tab. 24: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular links ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	74
Tab. 25: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest binocular ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	75

Tab. 26: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular rechts mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	75
Tab. 27: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular links mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	76
Tab. 28: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest binocular mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	76
Tab. 29: Mittelwerte der Differenzen „Kontrastsehtest ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	77
Tab. 30: Mittelwerte der Differenzen „Kontrastsehtest mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	77
Tab. 31: Mittelwerte der Differenzen „Stereosehtest - Ringe“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	78
Tab. 32: Mittelwerte der Differenzen „Akkommodationstest - Alter“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	79
Tab. 33: Mittelwerte der Differenzen „Akkommodationstest - Dioptrien“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts	79
Tab. 34: Technische Kenndaten der beiden zum Kostenvergleich herangezogenen Leuchten.....	87
Tab. 35: Lampenlebensdauer in Stunden (h) von kalt-weißen Leuchtstoffröhren und Vollspektrum-Röhren in Abhängigkeit von der Art des verwendeten Vorschaltgeräts	89

1 Einleitung

Ein Kennzeichen des heutigen Gesundheitswesens liegt in der immer noch mangelnden Berücksichtigung der Gesundheitsförderung bzw. -vorsorge. Die Förderung einer lebenswerten sowie gesundheitsfördernden physischen und sozialen Umwelt spielt eine untergeordnete Rolle in der Gesundheitspolitik, obwohl mit dem Instrument der ökonomischen Evaluation versucht wird, den Einsatz von Maßnahmen von deren Effizienz abhängig zu machen und so ein objektives Beurteilungskriterium zu schaffen. Die Konzentration der Medizin liegt jedoch weiterhin auf der Reparatur von Gesundheitsschäden.

Zu den vernachlässigten Aspekten der Gesundheitsförderung zählt als Bestandteil der physischen Umwelt auch das Licht.

Heutzutage herrscht in den Industriegesellschaften ein durch den Einsatz von Kunstbeleuchtung hervorgerufener Mangel an natürlichem Licht. So wird z.B. eine v.a. in den nördlichen Breiten weit verbreitete Krankheit, die saisonal abhängige Depression (SAD) - in der Umgangssprache auch Winterdepression genannt - durch den Mangel an natürlichem Licht verursacht.

Die Bedeutung von Licht für den Menschen wird vielen immer mehr bewußt. Durch die sich immer weiter verschlechternden Umweltbedingungen nimmt die Sorge um die Gesundheit vieler Menschen zu. Die Individuen machen sich Gedanken über die Gestaltung ihrer Lebensbereiche, bei der auch der Faktor Licht eine wichtige Rolle spielt.

Die zunehmende Akzeptanz der Bedeutung des Faktors Licht kann auch auf dem Gebiet der Medizin beobachtet werden. Die Anwendung der Lichttherapie, u.a. auch für die Behandlung der Winterdepression, wird immer häufiger durchgeführt. Doch stellt dies einen sehr kleinen Bereich des gesamten Systems dar.

Die Idee hinter dieser Studie ist die Darstellung des vorherrschenden Gesundheitssystems und seiner Probleme sowie die Erläuterung der Erklärungs- und Lösungsansätze, welche die Disziplin der Gesundheitsökonomie zu diesem Thema beisteuert (*vgl. Kap. 2*).

Für ein Verständnis der grundlegenden Einflüsse des Lichts auf den Menschen sind physikalische und physiologische Grundlagen von Licht ebenso Bestandteil dieser Studie (*vgl. Kap. 3*).

Weiters soll anhand dieser Studie eine relativ einfach durchführbare Maßnahme der Gesundheitsförderung aufgezeigt werden. Der hier untersuchte Lebensbereich ist die Schule, die betreffende Maßnahme die Ausstattung von Klassenräumen mit Vollspektrumlicht. (Dieses Licht besitzt ein dem Sonnenlicht nachgeahmtes ausgewogenes Spektrum und stellt so eine Annäherung an das natürliche Tageslicht dar.)

Anhand der Veränderungen bestimmter physischer und psychischer Parameter, die bei den SchülerInnen¹ der betreffenden Schule erhoben wurden, erfolgte - nach dem Vorbild einer vorangegangenen Studie in Kanada² - die Analyse der Wirkungen des Vollspektrumlichts auf die Jugendlichen (*vgl. Kap. 4 bis 7*).

Einen weiteren Aspekt dieser Studie stellt die Untersuchung von umweltrelevanten Wirkungen des Einsatzes von Vollspektrumlampen in Verbindung mit elektronischen Vorschaltgeräten dar, die vor allem aus den Energieeinsparungen und der verlängerten Lebensdauer der Lampen resultieren (*vgl. Kap. 8*).

2 Einige Aspekte zur Gesundheitsökonomie

2.1 Der Begriff der Gesundheit

Gesundheit ist ein wichtiger Indikator für den Wohlstand einer Gesellschaft. Doch ist der Begriff Gesundheit selbst keineswegs eindeutig abgrenzbar. Es gibt viele verschiedene Sichtweisen und Definitionen.

Nach der Definition der Weltgesundheitsorganisation (WHO) ist Gesundheit „... der Zustand vollständigen körperlichen, geistigen und sozialen Wohlbefindens und nicht nur das Freisein von Krankheit und Gebrechen“³. Gesundheit ist ein wesentlicher Bestandteil des Alltags und nicht vorrangiges Lebensziel.

In neueren Ansätzen werden Gesundheit und Krankheit als multifaktoriell bedingt betrachtet. Vier Dimensionen beeinflussen den Gesundheitszustand: biologisch-genetische

¹ Im Rahmen dieser Studie wird für allgemeine Formulierungen die männliche Form der Subjekte verwendet, gemeint sind damit aber beide Geschlechter. Eine Ausnahme bildet der spezielle Fall der Schüler und Schülerinnen der untersuchten Hauptschule, mit denen die Autorin persönlichen Kontakt hatte.

² Wohlfarth, H., Color and Light Effects on Students' Achievement, Behavior and Physiology, Alberta Education, Faculty of Extension, University of Alberta, 1986

³ Weltgesundheitsorganisation, Gesundheit für alle im Jahr 2000, Genf: WHO, 1976; zitiert in: Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin. Public Health, Bern; Göttingen [u.a.]: Huber, 1996, S. 23

Gegebenheiten, medizinisch-technische Möglichkeiten, der Lebensstil und Umweltfaktoren.

In den klassischen medizinischen Konzeptionen hingegen wird Gesundheit als Abwesenheit einer mit klinischer Diagnose zu erfassenden Krankheit angesehen⁴.

Die Reichweite dieser Sichtweisen zeigt die unterschiedlichen Interpretationsmöglichkeiten des Begriffs Gesundheit auf.

Hier sei auch auf das Konzept der Risikofaktoren hingewiesen:

Dieses Konzept trägt der fehlenden Ursache-Wirkungs-Beziehung bei chronisch-degenerativen Krankheiten Rechnung, die das Krankheitsbild in den heutigen Industriegesellschaften beherrschen.

Der Risikofaktor ist das kalkulierte Risiko einer Person mit bestimmten Charakteristika, in einem definierten Zeitraum von einer bestimmten Krankheit befallen zu werden. So ist es möglich, bestimmte Gesundheitsprobleme mit einer bekannten Wahrscheinlichkeit vorzusagen. Anhand dieses Konzepts werden auch Präventionsmaßnahmen durchgeführt, welche die Verminderung der Risikofaktoren und damit jene der Erkrankungswahrscheinlichkeit zum Ziel haben⁵.

Beispiele für Risikofaktoren bei Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind ein erhöhter Cholesteringehalt im Serum, erhöhter Blutdruck (Hypertonie) und Rauchen⁶.

Das erweiterte Verständnis von Gesundheit hat dazu geführt, daß Konzepte wie die Prävention und die Gesundheitsförderung immer mehr Eingang in das heutige Gesundheitswesen finden. Derzeit noch von der traditionellen Medizin beherrscht, zeigt es doch steigendes Interesse an alternativen Lösungsansätzen.

Im folgenden seien die Begriffe der Prävention und Gesundheitsförderung näher erklärt:

Prävention bezieht sich auf eine bestimmte zu verhindernde Krankheit. Sie ist als Krankheitsverhütung anzusehen. Durch gezielte Aktivitäten wird versucht, den Eintritt einer gesundheitlichen Schädigung zu verhindern.

Die Prävention wird unterteilt in

- die Verhaltensprävention, bei der eine Verhaltensbeeinflussung auf individueller Ebene stattfindet und in

⁴ Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 23

⁵ vgl. Kap. 2.2.4

⁶ Laaser, U., Prävention. Gesundheitserhaltung und Krankheitsverhütung, in: Viefhues, H. (Hrsg.), Lehrbuch Sozialmedizin, Stuttgart; Berlin [u.a.]: Verlag W. Kohlhammer, 1981, S. 124

- die *Verhältnisprävention*, die auf der strukturellen Ebene der Umwelt bzw. der Gesellschaft stattfindet⁷.

Weiters werden verschiedene Stufen der Prävention unterschieden:

- Die Aufgabe der *Primärprävention* ist die Vermeidung exogener Schädigungen und die Verhinderung bzw. Verminderung personengebundener Risiken.
- Mit der *Sekundärprävention* soll das Fortschreiten eines Krankheitsfrühstadiums (also noch vor der eigentlichen Krankheit) verhindert werden. Es handelt sich hier um Früherkennung und -behandlung (Vorsorgeuntersuchungen, ...).
- Bei der *Tertiärprävention* sollen die Folgeschäden einer eingetretenen Erkrankung vermieden bzw. abgemildert werden⁸.

Die Gesundheitsförderung wird gemäß der WHO folgendermaßen definiert⁹:

„Gesundheitsförderung zielt auf einen Prozeß, allen Menschen ein höheres Maß an Selbstbestimmung über ihre Gesundheit zu ermöglichen und sie damit zur Stärkung ihrer Gesundheit zu befähigen“.

Dieses Konzept bezieht sich nicht spezifisch auf eine Krankheit, sondern ist auf die Stärkung des Wohlbefindens ausgerichtet. Es resultiert aus dem salutogenetischen Ansatz, in dem die Frage nach den Entstehungsbedingungen von Gesundheit gestellt wird¹⁰.

Aufgrund der durchgeführten bevölkerungsbezogenen Interventionen im Zuge der Gesundheitsförderung, die auf die verschiedenen Lebensbereiche (Schule, Familie, Arbeitsplatz, Wohnort, ...) ausgerichtet sind, wird die Wahrscheinlichkeit des Eintritts mehrerer verschiedener Krankheiten gleichzeitig gesenkt. Die Maßnahmen beziehen sich etwa auf gesundes Wohnen, Hygiene und Umweltschutzmaßnahmen¹¹.

In diesem Zusammenhang ist der Faktor Licht besonders zu erwähnen. Die Gewährleistung von guter Beleuchtung ist ein wichtiger Teil der gesundheitsfördernden Gestaltung der Lebensbereiche Arbeitsplatz und Wohnort.

Durch ihren allgemeineren Charakter ist die Vorgehensweise der bevölkerungsbezogenen Maßnahmen erfolgversprechender als personenbezogene Interventionen. Eine

⁷ Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften. Eine Problematisierung, in: Rosenbrock, R., Kühn, H. et al. (Hrsg.), Präventionspolitik. Gesellschaftliche Strategien der Gesundheitssicherung, Berlin: Edition Sigma, 1994, S. 35ff

⁸ Schwartz, F. W., Walter, U. et al., Prävention, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al. (Hrsg.), Das Public-Health Buch. Gesundheit und Gesundheitswesen, München; Wien [u.a.]: Urban und Schwarzenberg, 1998, S. 151

⁹ Ottawa-Charta zur Gesundheitsförderung, Weltgesundheitsorganisation (WHO), 1986; zitiert in: Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 23

¹⁰ Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften, 1994, S. 35ff

¹¹ Brennecke, R., Schelp, F. P., Sozialmedizin, Stuttgart: Enke, 1993, S. 38

Abschätzung des Beitrags, den diese Maßnahmen auf die Erhaltung der Gesundheit haben, wird dadurch jedoch erschwert¹².

Die Aufgabe der *Gesundheitsökonomie*¹³ ist es nun, anhand der ihr zur Verfügung stehenden ökonomischen Instrumente und Erklärungsansätze einen Beitrag zur Lösung der offenen Probleme des heutigen Gesundheitswesens zu liefern und Anreize für ein effizienteres Funktionieren des Systems zu schaffen.

2.2 Das Gesundheitssystem und seine Probleme

2.2.1 Darstellung des heutigen Gesundheitssystems

Das Ziel der Gesundheitspolitik ist die bestmögliche Versorgung der Bevölkerung mit den vorhandenen Mitteln. In den letzten Jahren ist ein immer weiterer Anstieg der Gesundheitsausgaben erfolgt, was zu einer Diskussion über Ausgabenbegrenzung geführt hat. Die Krankenversorgung in der EU wird vorwiegend mit öffentlichen Geldern finanziert und ist einem immer größeren Kostendruck unterworfen.

Der Gesundheitssektor wächst in den Industrieländern schneller als das Bruttoinlandsprodukt (BIP). Mit steigendem Wohlstand sind die Menschen aber auch bereit, relativ mehr für Gesundheitsleistungen auszugeben.

Die durchschnittliche Wachstumsrate der Gesundheitsausgaben pro Kopf betrug in Österreich im Zeitraum zwischen 1985-1990 7,1%, während das BIP pro Kopf im selben Zeitraum um nur 6,5% angestiegen ist¹⁴.

Der Gesundheitssektor nimmt somit einen immer größeren Anteil an den insgesamt in einer Volkswirtschaft produzierten Gütern und Dienstleistungen ein. Im Jahr 1996 betrug der Anteil der österreichischen Gesundheitsausgaben am BIP 8%¹⁵.

¹² Die Trennschärfe der Begriffe Gesundheitsförderung und Prävention nimmt immer weiter ab. Aus diesem Grund wird im folgenden zwischen diesen beiden Begriffen nicht weiter unterschieden.

¹³ Die *Ökonomie der Gesundheit* befasst sich mit den Fragen der Messung und Bewertung von Gesundheit, während sich die *Ökonomie des Gesundheitswesens* den Aspekten der Finanzierung der Gesundheitsversorgung einschließlich der Gestaltungsfragen des Versicherungssystems widmet. Im folgenden wird zwischen diesen beiden Begriffen jedoch keine Unterscheidung getroffen. Quelle: John, J., Zur Nachfrage nach Gesundheitsleistungen aus ökonomischer Sicht, in: Weitkunat, R., Haisch, J. et al. (Hrsg), Public Health und Gesundheitspsychologie, Bern; Göttingen [u.a.]: Huber, 1997, S. 437

¹⁴ Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz (Hrsg.), Gesundheitsbericht an den Nationalrat, Berichtszeitraum 1989-1992, Wien, 1994, S. 50

¹⁵ Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales (Hrsg.), Das Gesundheitswesen in Österreich, Wien, Juli 1998, S. 84

Das heutige Gesundheitswesen ist durch das Auftreten von multifaktoriellen Krankheiten, bei denen keine direkten Ursache-Wirkungs-Beziehungen festgestellt werden können, bestimmt. Diese Krankheiten, wie etwa Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Krebs, Erkrankungen der Atmungsorgane und chronisch-degenerative Krankheiten, haben die eher monokausalen Infektionskrankheiten in ihrer Bedeutung abgelöst.

Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Krebs sind in Österreich für mehr als 70% der Todesfälle verantwortlich¹⁶.

Eine allgemeine Steigerung der Lebenserwartung durch den Rückgang der Säuglingssterblichkeit ist ein Kennzeichen des heutigen Gesundheitssystems. Ein Grund für die erhöhten Krankenversorgungskosten liegt in der wachsenden Population der Senioren mit einem höheren Anspruch auf medizinische Leistungen.

Der Anteil der Personen über 60 Jahre an der Gesamtbevölkerung betrug in Österreich im Jahr 1998 19,8%. Bis zum Jahr 2030 wird mit einem Anstieg dieser Bevölkerungsgruppe auf 33% gerechnet¹⁷. Der Anteil an Menschen mit chronischen Krankheiten (= bedingter Gesundheit) wächst also ständig.

Die finanziellen Aufwendungen für die Bevölkerungsgruppe über 65 Jahre macht im Durchschnitt 40-50% der Gesamtausgaben im Gesundheitswesen aus¹⁸.

Ein weiteres Kennzeichen des österreichischen Gesundheitssystems ist die im internationalen Vergleich relativ hohe Zahl an Spitalsaufenthalten pro Bürger und Jahr: Diese lag in Österreich im Jahr 1995 bei 0,249 pro Bürger, im EU-weiten Durchschnitt lediglich bei 0,167 pro Bürger.

Demgegenüber stehen kürzere Verweildauern der Patienten in den Krankenhäusern im Vergleich mit anderen Ländern. Diese betragen in Österreich im Jahr 1995 9,6 Tage pro Bürger, im EU-Durchschnitt 12,5 Tage¹⁹.

Der wichtigste Finanzier des österreichischen Gesundheitswesens ist die Krankenversicherung, deren Geldmittel von den Versicherten im Umlageverfahren nach dem Prinzip des Generationenvertrags eingehoben werden.

Die Aufwendungen der Krankenversicherungen für stationäre Behandlungen machten im Jahr 1996 etwa 31% der Gesamtausgaben aus, während sich die Ausgaben für die

¹⁶ Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz (Hrsg.), Gesundheitsbericht an den Nationalrat, 1994, S. 36

¹⁷ ebenda, S. 10

¹⁸ Kobelt-Nguyen, G., Wegweiser zur Gesundheitsökonomie. Ökonomische Erhebungen in der Medizin, Wien: Sandoz, 1996, S. 10

¹⁹ Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales (Hrsg.), Das Gesundheitswesen in Österreich, Wien, Juli 1998, S. 43

Gesundheitsförderung und die Früherkennung von Krankheiten auf weniger als 1% belieben²⁰. Obwohl die Gesundheitsvorsorge in Österreich seit 1992 gesetzlicher Auftrag der Sozialversicherungen ist²¹, stehen dafür noch immer sehr bescheidene Mittel zur Verfügung.

2.2.2 Grenzen des heutigen Gesundheitssystems: Eine Chance für Prävention

Die fortschreitende Arbeitsteilung auf dem Gebiet des Gesundheitswesens führte zu einer Konzentration auf rein körperliche Problemstellungen und der Erstellung von technischen Lösungsansätzen. Der Einsatz von technikintensiven Behandlungsmaßnahmen gewann immer mehr an Bedeutung. Die klinische Arbeit wurde dementsprechend technik- oder organzentriert geteilt, während interaktionsintensive Diagnosen und Therapien in den Hintergrund traten. Auch die Subjektivität und Individualität der zu behandelnden Personen und ihre Beiträge zur Krankheitsbewältigung verloren an Bedeutung²².

Das heutige Gesundheitswesen ist kurativ ausgerichtet. D.h. es befaßt sich vor allem mit der Heilung von Krankheiten und nicht mit der Erhaltung und Förderung von Gesundheit. Die meisten Gesundheitssysteme sind rein medizinische Versorgungssysteme²³.

In unserer Gesellschaft besteht aber dennoch der Konsens, daß gegen die gesundheitlichen Probleme und Krankheiten unserer Zeit vor allem mit Interventionen vor der Manifestation einer Krankheit etwas erreicht werden kann. Die Bereiche der Prävention und der Gesundheitsförderung sind die großen Produktivitätsreserven der Gesundheitspolitik.

Das primär kurative und individualmedizinische Versorgungssystem kann die heute vorherrschenden chronisch-degenerativen Krankheiten (wie z.B. Rheuma, Gicht, Herz-Kreislauf-Erkrankungen) erst relativ spät und nicht besonders wirksam beeinflussen. Wichtige Verursacher dieser Krankheiten liegen in den Arbeits-, Lebens- und Umweltverhältnissen und der Reaktion der Menschen darauf. Die Prävention ist durch ihre Interventionen in den verschiedenen Lebensbereichen geeignet, degenerative Verschleißerscheinungen bzw. chronische Erkrankungen zurückzudrängen und die Lebensqualität der Bevölkerung zu verbessern.

²⁰ ebenda, S. 84; Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger (Hrsg.), Handbuch der österreichischen Sozialversicherung, Wien, 1997, S.46

²¹ Kobelt-Nguyen, G., Wegweiser zur Gesundheitsökonomie, 1996, S. 4

²² Badura, B., Feuerstein, G., Systemgestaltung im Gesundheitswesen, Weinheim; München: Juventa-Verlag, 1994, S. 10ff

²³ Brösskamp-Stone, U., Kickbusch, I. et al., Gesundheitsförderung, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al. (Hrsg.), Das Public-Health Buch, 1998, S. 149

Die präventiven Potentiale werden in Schätzungen einer Gesundheitsinstitution in den USA²⁴ deutlich, nach denen der Einfluß der sozialen Umwelt und der Lebensweisen auf die Sterblichkeit wesentlich größer ist als die Einflüsse der stofflichen Umwelt und der biologischen Prädisposition, sowie jener der medizinischen Versorgung.

Gemäß dem Weltentwicklungsbericht 1993²⁵ sind die vorherrschenden Probleme bei der Finanzierung und Handhabung der Gesundheitssysteme folgende:

- * Fehlallokation: Öffentliche Mittel für Gesundheitsausgaben werden mit hohen Kosten und geringer Effizienz ausgegeben.
- * Ungerechtigkeiten, Ungleichheit: Bezuglich der Gesundheit besteht keine Chancengleichheit für wirtschaftlich Benachteiligte.
- * Ineffizienz: Verschwendungen der Gesundheitsausgaben durch ineffizienten Einsatz der Geldmittel.
- * Kostenexplosion

Die Probleme des Gesundheitssystems haben ihre Wurzeln in verschiedenen Bereichen: Einerseits werden den Akteuren zu wenige Anreize gegeben, sich effizient zu verhalten: der Arzt bestimmt den Konsum ohne zu zahlen; die Krankenkasse bezahlt ohne zu bestimmen; dem Patient ist der Preis aufgrund der fehlenden Selbstbeteiligung an der medizinischen Versorgung egal. Es kommt hier zu einer Dreiteilung der Konsum- und Finanzierungsentscheidung²⁶. Durch dieses sogenannte „Funktionensplitting“ wird die Ausbildung eines Kostenbewußtseins bei Herstellern und Verbrauchern verhindert²⁷. So sehen etwa die Versorger keinen Grund auf die Kosten zu achten und setzen immer neue Technologien mit höheren Kosten ein.

Große Summen werden für die Behandlung von Krankheiten ausgegeben, jedoch mit mäßigem Erfolg. Im Vergleich dazu erzielt die Prävention wesentlich größere Verbesserungen in der Gesundheit der Bevölkerung²⁸.

Bei allen am Gesundheitssystem Beteiligten herrscht ein Motivationsmangel, der wiederum zur Verschwendungen von Geld führt. Durch mangelnde Transparenz haben viele den Eindruck, sie holen sich die Leistungen, die ihnen sowieso zustehen, von einem großen anonymen und reichen Geldgeber.

²⁴ CDC - U.S. Centers for Disease Control, Ten leading causes of death in the United States, Atlanta, 1994; zitiert in: Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften, 1994, S. 30f

²⁵ Hecht, R., Musgrave, P., Ein Überdenken der staatlichen Rolle im Gesundheitssektor, Finanzierung und Entwicklung, September 1993, S. 6

²⁶ von der Schulenburg, J. M., Fünf Thesen zur Kostenexplosion im Gesundheitswesen, in: Oberender, P. (Hrsg.), Neuorientierung im Gesundheitswesen, Bayreuth: Verlag P.C.O., 1988, S. 3ff

²⁷ Herder-Dorneich, P., Ökonomische Theorie des Gesundheitswesens, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 1994, S. 961

²⁸ Cundiff, D. E., McCarthy, M. E., The Right Medicine. How to Make Health Care Reform Work Today, Totowa: Humana Press Inc., 1994, S. 67ff

Die Verteilung einiger Leistungen erfolgt nach dem Gießkannenprinzip während andere (wie Zahnprothesen, Psychiatrie, ...) nicht durch das Versicherungssystem abgedeckt sind²⁹.

Lösungsansätze

Für eine Lösung dieser Probleme muß ein Umdenken in bezug auf den Verwendungszweck der Mittel stattfinden. Das derzeitige System produziert durch die Bereitstellung von Mitteln für vorwiegend kurative Maßnahmen „Kranke“ bzw. Krankenstände. Finanzielle Unterstützung sollte vielmehr jenen Personen zugedacht werden, die Prävention betreiben und dadurch zu einem späteren Zeitpunkt Geld einsparen³⁰.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist es, den Selbsthilfewillen und die Selbstverantwortung zur Prävention zu fördern, die im derzeitigen System noch sehr schwach ausgeprägt sind. Die Verantwortung der eigenen Gesundheit soll nicht mehr auf das Gesundheitswesen abgeschoben werden.

Dazu ist es von Bedeutung, daß Interventionen nicht mit „erhobenem Zeigefinger“ erfolgen, sondern sozial eingebettet sind. Nicht Information allein motiviert die Leute, sondern gesellschaftlich gemeinsame Aufgeschlossenheit gegenüber einem bestimmten Gedanken³¹.

Durch die Transparentmachung der Kosten, die für die medizinischen Leistungen anfallen, (z.B. durch Selbstbeteiligung oder Rückvergütung) kann das Kostenbewußtsein erhöht werden.

Zu einer höheren Effizienz im Gesundheitswesen gehören auch stärkere ökonomische Anreize und ein verschärfter Wettbewerb. Das derzeitige Gesundheitssystem ist zu wenig marktorientiert. Eine wettbewerbsorientierte Reform des Gesundheitswesens würde dem einzelnen mehr Freiheit und Verantwortung zugestehen. Durch einen verstärkten Preis-, Leistungs- und Qualitätswettbewerb würde eine bessere Anpassung an die Bedürfnisse der Menschen erfolgen.

Die vorgeschlagenen möglichen Maßnahmen zur Erreichung einer verstärkten Markt-orientierung umfassen unter anderem: Abbau von Regulierungen, Wettbewerb zwischen Krankenkassen, um eine ökonomische Arbeitsweise einzuführen, (ökonomische) Beurteilung alternativer Behandlungsmethoden, Neuorganisation der Berechnung und Bezahlung von Produkten und Dienstleistungen, eine sozial tragbare Selbstbeteiligung und Abbau von Beschränkungen bezüglich Honorarregeln für Ärzte und Krankenhäuser³².

²⁹ Barolin, G. S., *Unser Gesundheitssystem auf dem Prüfstand*, Wien; München [u.a.]: Wilhelm Maudrich, 1991

³⁰ ebenda

³¹ Vogel, H. R., *Prävention und deren ökonomische Effizienz*, Stuttgart; New York: Gustav Fischer Verlag, 1989, S. 72ff

³² von der Schulenburg, J. M., *Fünf Thesen zur Kostenexplosion im Gesundheitswesen*, 1988, S.3ff

Das derzeitige Gesundheitssystem kann nicht mehr allein durch Geld saniert werden. Grundlegende Änderungen sind notwendig. Hier kommen Aspekte wie die Verbesserung des Systems durch ökonomische Anreize, die Steigerung der Motivation, mehr Eigenverantwortung sowie Verantwortung für andere und mehr Transparenz zum Tragen³³.

2.2.3 Hindernisse für die Prävention

Die noch immer vorliegende Vernachlässigung von Maßnahmen der Prävention hat verschiedenste Gründe, von denen einige im folgenden dargestellt werden:

Behandlungsorientierung³⁴

Ein Ergebnis der behandlungsorientierten Einstellung der Gesundheitspolitik ist die Konzentration eines Großteils der medizinischen Forschung auf die Entwicklung von neuen Medikamenten, Arzneimitteln und Behandlungsmethoden, anstatt auf die Krankheitsvorbeugung.

Konkurrenz zweier Denkmuster³⁵

Das Konzept der sozialen Prävention steht in Konkurrenz zur präventiven Individualmedizin.

Die soziale Prävention beschäftigt sich mit der Frage, unter welchen Bedingungen die Menschen gesund bleiben und was für die Erhaltung dieser Bedingungen für möglichst viele Menschen getan werden kann. Typische Maßnahmen sind z.B. der Abbau von Lärm, inkonsistenten Anforderungen, Zeitdruck oder Schichtarbeit.

Die präventive Individualmedizin hingegen konzentriert sich auf das möglichst frühe Erkennen von Erkrankungen und die Umkehrung dieses Prozesses. Die Dauermedikation zur Blutdrucksenkung ist ein Beispiel für diese Art der Intervention.

Das vorherrschende technisch-pharmakologische Denkmuster der kurativen Biomedizin favorisiert das zweite Konzept. Technische Lösungen, wie Medikamente oder Operationen, machen soziale und politische Änderungen überflüssig. Sie sind deshalb einfacher, mit weniger Aufwand vorzunehmen und scheinen den bestehenden Konflikt genauso zu lösen.

So trägt die praktizierte Wissenschafts- und Technikgläubigkeit dazu bei, daß politische und soziale Innovationen zur Lösung von Zukunftsproblemen weder erkannt und untersucht, noch mit den erforderlichen ökonomischen und politischen Ressourcen ausgestattet werden.

³³ Barolin, G. S., *Unser Gesundheitssystem auf dem Prüfstand*, 1991

³⁴ Cundiff, D. E., McCarthy, M. E., *The Right Medicine*, 1994, S. 67ff

³⁵ Kühn, H., Rosenbrock, R., *Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften*, 1994, S. 44ff

Beweislast

Soziale und krankheitsunspezifische Präventionskonzepte haben eine unvergleichlich höhere Beweislast zu tragen, als das individuenbezogene Vorgehen der Medizin. Oft herrscht eine überkritische Haltung gegenüber der Prävention, die in gewonnenen Lebensjahren ohne Zweifel schon mehr gebracht hat als die kurative Medizin (Verbesserung der Ernährung, Bildung, Impfprogramme, Schwangerenfürsorge, Arbeitsplatzüberwachung, Infektionsverhütung, ...). Eine dementsprechende kritische Haltung gegenüber der Effizienz der kurativen Medizin unterbleibt jedoch vielfach³⁶.

Darüber hinaus fehlt es noch an geeigneten Kriterien für den Nachweis der Effektivität. Für die heute vorherrschenden multifaktoriellen modernen Volkskrankheiten scheint keine Alternative zu den unspezifischen Formen der Prävention in Sicht. Gerade für diese Form der Prävention kann aber deren Wirksamkeit nicht im vorhinein unter Beweis gestellt werden³⁷.

Interessenskonflikte³⁸

Eine im Rahmen der Prävention angestrebte Lebensstiländerung könnte die Herstellung und den Vertrieb bestimmter Produkte, wie etwa Alkohol oder Zigaretten, gefährden. In so einem Fall ist der Widerstand der Industrie gegen Maßnahmen der Prävention vorprogrammiert.

Individuelle Bewertung

Prävention erfolgt in gesundem Zustand. Hier ist jedoch die Bereitschaft der Betroffenen geringer, etwas für die Verbesserung der Gesundheitschancen zu tun.

Folgende Tatbestände spielen hier eine Rolle:

- * Das Gesetz der Minderschätzung zukünftiger Güter³⁹: In der Prävention besteht zwischen der Intervention und dem Ergebnis eine enorme zeitliche Distanz. Der Erfolg, der sich erst in späteren Zeiten einstellt, wird als weniger wert erachtet als der, den man sofort hat⁴⁰.
- * Der Wert einer bestimmten Verringerung der Wahrscheinlichkeit zu sterben ist größer, wenn die Todeswahrscheinlichkeit hoch ist. So wird etwa ein Programm für Schwer-

³⁶ Vogel, H. R., Prävention und deren ökonomische Effizienz, 1989, S. 75

³⁷ ebenda, S. 50

³⁸ Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 189f

³⁹ vgl. *Gesundheitsgüter sind Zukunftsgüter* Kap. 2.3.2

⁴⁰ Münnich, F. E., Ökonomische Aspekte der Prävention, in: Vogel, H. R., Prävention und deren ökonomische Effizienz, 1989, S. 60ff

kranke (mit hohen Kosten pro vermiedenem Tod) gegenüber Präventionsprogrammen, die den Tod zu geringeren Kosten abwenden können, bevorzugt⁴¹.

- * Entscheidend ist auch der Mangel an wissenschaftlich fundierten Kenntnissen über die Effektivität der Prävention, während gleichzeitig der Glaube an die Wirksamkeit der kurativen Medizin nach wie vor unerschütterlich ist⁴².
- * Oft kommt es auch zu einer gesellschaftlichen Banalisierung von verhütbaren Krankheiten und Todesursachen, wie z.B. Autounfällen, Krebs oder Herzinfarkt, die in weiterer Folge einen Einfluß auf die Bewertung durch die Individuen nimmt⁴³.

Weitere Hindernisse⁴⁴

- * Die Ausbildung der Ärzte ist auf die Heilung von bereits kranken Patienten ausgerichtet und nicht in Richtung Prävention.
- * Die derzeit herrschende Entlohnungspolitik begünstigt die Krankenversorgung vor der Gesundheitsförderung. Aus diesem Grund besteht für die Ärzte keine Motivation, Prävention zu betreiben.

Lösungsansätze

Teilweise wurden mögliche Lösungen, wie eine Änderung der Entlohnungsarten zur Bevorzugung der Prävention, Ermunterung der Individuen zur Übernahme von Verantwortung oder Bereitstellung von mehr Mitteln für die Forschung im Bereich der Gesundheitsförderung, bereits besprochen⁴⁵.

Eine grundlegende Änderung, die wahrscheinlich für die Aufhebung des Monopols der Biomedizin notwendig ist, ist der Übergang vom Denken und Handeln im individuellen Maßstab zur Orientierung in gesellschaftlichen Dimensionen und die Aufhebung der naturwissenschaftlich-technischen Schranken zugunsten sozialer und politischer Innovationen⁴⁶.

⁴¹ Fuchs, V. R., The Future of Health Policy, Cambridge; Massachusetts [u.a.]: Harvard University Press, 1993, S. 31

⁴² Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 159

⁴³ ebenda, S. 189f

⁴⁴ Cundiff, D. E., McCarthy, M. E., The Right Medicine, 1994, S. 67ff

⁴⁵ vgl. *Lösungsansätze* Kap. 2.2.2

⁴⁶ Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften, 1994, S. 47ff

2.2.4 Ausgewählte Beispiele für Präventionsmaßnahmen⁴⁷

Gesundheitserziehung an Schulen

Diese Strategie kann nur Erfolg haben, wenn nicht nur Information und Wissen vermittelt werden, sondern der Begriff der Gesundheit lebensnah und in den Alltag eingebunden vermittelt wird. Dazu gehört auch eine auf die Bedürfnisse der Schüler und Lehrer abgestimmte Gestaltung der Schulumwelt.

Veränderung der Lebensgewohnheiten

Die häufigsten Zivilisationskrankheiten können teilweise auf vorliegende Lebensumstände zurückgeführt werden. Die gesundheitsgerechte Änderung von Lebensgewohnheiten stützt sich auf die Identifikation von Risikofaktoren⁴⁸.

Eine Veränderung des Lebensstils kann durch Information, Anreize und Motivation (Geld, sozialer Druck, ...) erfolgen. Gleichzeitig muß aber auch die Fähigkeit zur Verhaltensänderung durch Kurse oder ähnliches vermittelt werden. Diese Maßnahmen erfolgen im Rahmen einer individuellen Beeinflussung⁴⁹. Ein wichtiges Beispiel in diesem Zusammenhang ist die Prävention von *Herz-Kreislauf-Erkrankungen*:

Diese Volkskrankheiten bringen erhebliche finanzielle Belastungen für den Staat und die Gesellschaft mit sich. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich gezeigt, daß diese Krankheiten in ihrem vorzeitigen Auftreten weitgehend verhütbar sind. Im Rahmen der Prävention wird durch eine Änderung der Ernährungsgewohnheiten und des Lebensstils eine Verminderung der Risikofaktoren, wie etwa des erhöhten Fettgehalts im Blut, der Hypertonie (Bluthochdruck) und des Nikotin, herbeigeführt.

Krankheitsfrüherfassung

In weitverbreiteten Filteruntersuchungen (screenings) werden möglichst viele Personen erfaßt.

In den Bereich der Krankheitsfrüherfassung fallen auch die in Österreich durchgeführten Maßnahmen der Gesundheitsvorsorge und Krankheitsvermeidung (Mutter-Kind-Paß, Gesunden- bzw. Vorsorgeuntersuchungen).

⁴⁷ Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996

⁴⁸ vgl. *Konzept der Risikofaktoren* Kap. 2.1

⁴⁹ Cundiff, D. E., McCarthy, M. E., The Right Medicine, 1994, S. 80ff

Zahnprophylaxe

Schlechte und fehlende Zähne sind ein altes Gesundheitsproblem. Die Morbidität aufgrund von Karies beträgt beim heutigen Erwachsenen mehr als 98%.

Die kurative Effektivität des jetzigen Systems ist kaum zu übertreffen. Bei den präventiven Maßnahmen sind jedoch noch weitreichende Potentiale vorhanden.

Die möglichen Interventionen umfassen unter anderem kollektive Maßnahmen, wie die Fluoridierung des Trinkwassers, der Milch sowie des Salzes. Gesündere Ernährung durch die Einschränkung des Zuckerkonsums, bessere Mundhygiene (Zähneputzen) und die Verwendung von Fluoridtabletten bzw. fluoridierten Zahnpasten stellen verhaltensabhängige Maßnahmen dar. Eine weitere Möglichkeit der Prävention besteht in der Versiegelung von Zähnen⁵⁰.

Licht, Lärm

Die Bereiche Lärm und Licht, deren Einfluß auf die Befindlichkeit und Gesundheit des Menschen längst anerkannt und wissenschaftlich bewiesen ist⁵¹, werden im Bereich der Gesundheitsförderung noch immer stark vernachlässigt. Diese beiden Größen sind für eine lebenswerte Gestaltung der Wohn- und Arbeitsumwelt, die bekanntermaßen Mitbestimmungsfaktoren der Gesundheit sind, von großer Bedeutung und daher in den Überlegungen, die bezüglich dieser Bereiche angestellt werden, in größerem Ausmaße zu berücksichtigen.

2.3 Beiträge der Gesundheitsökonomie zur Lösung der Probleme des Gesundheitswesens

2.3.1 Anwendungsbereiche der Gesundheitsökonomie

Die Entstehung der Gesundheitsökonomie erfolgte durch die rasche Zunahme der öffentlichen Aufwendungen für das Gesundheitswesen in der zweiten Hälfte der sechziger Jahre. Die Folge der Kostenexplosion war eine verstärkte ökonomische Betrachtungsweise.

⁵⁰ Borgers, D., Primärprävention durch biotechnischen Eingriff versus Gesundheitserziehung: Das Beispiel der Kariesprävention durch Fluoridierung; in: Rosenbrock, R., Kühn, H., et al. (Hrsg.), Präventionspolitik, 1994, S. 83ff

⁵¹ vgl. Kap. 3.1.3 sowie Kap. 3.1.4

Die Gesundheitsökonomie versucht, menschliches Verhalten im Umgang mit der Gesundheit bzw. mit Gütern und Dienstleistungen, die im Gesundheitswesen eingesetzt werden, mit Hilfe wirtschaftswissenschaftlicher Methoden zu erklären⁵².

Die Gesundheitsökonomie betrachtet die Gesundheit unter dem Aspekt der Knappheit. Gesundheit ist demnach ein wirtschaftliches Gut, das man in größerem oder kleinerem Ausmaß besitzen kann, und ein Bestandteil unseres Humankapitals, das es uns ermöglicht, zu arbeiten, Einkommen zu erzielen und Güter zu konsumieren. Das Gut „Gesundheit“ wird mit Hilfe dazu geeigneter Güter, sogenannter „Gesundheitsgüter“, produziert, welche ebenfalls der Knappheit unterliegen. Im Zuge dieser Produktion werden Ressourcen verbraucht, die infolgedessen für alternative Verwendungszwecke nicht mehr zur Verfügung stehen. Die Gesundheitsökonomie beschäftigt sich mit der Frage, wie mit diesen knappen Mitteln der größtmögliche Erfolg zu erzielen ist⁵³.

Im Rahmen der Gesundheitsförderung übernimmt die Gesundheitsökonomie die Aufgabe, die Entscheidungsträger über Nutzen und Kosten von Alternativen zu informieren. Sie berücksichtigt nicht nur Kosten, sondern vielfältige Aspekte der erbrachten Leistungen, und stärkt somit den Vorsorgegedanken im Gesundheitswesen. Die ökonomische Evaluation ist essentiell für die Bestimmung von kosteneffizienten Gesundheitsförderungsmaßnahmen. Ohne dieses Instrument mangelt es den politischen Entscheidungsträgern an Information und es bestünde die Gefahr der ineffizienten Nutzung knapper Ressourcen⁵⁴.

2.3.2 Gesundheit als Gut: Besonderheiten und Strategien⁵⁵

Gesundheit ist einerseits ein Konsumgut, das einen direkten Nutzen bringt, auf der anderen Seite ein Investitionsgut, das zur Produktion von anderen Gütern und Dienstleistungen beiträgt⁵⁶.

Gesundheit als Gut bzw. Gesundheitsgüter sind durch die Charakteristika unterschiedlicher Güterarten gekennzeichnet:

- Gesundheitsgüter haben Eigenschaften von *Dienstleistungen*.
 - * Dienstleistungen werden vom Anbieter im Beisein des Nachfragers erbracht. Der Konsum und die Produktion fallen räumlich und zeitlich zusammen. Der Konsument (Patient) hat einen Anteil an der Produktion des Gutes „Gesundheit“.

⁵² Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 156ff

⁵³ Maynard, A., The Relevance of Health Economics to Health Promotion, in: Badura, B., Kickbusch, I. (eds.), Health Promotion Research. Towards a New Social Epidemiology, WHO Regional Publications, European Series, No. 37, Kopenhagen, 1991, S. 29f

⁵⁴ ebenda

⁵⁵ Herder-Dorneich, P., Ökonomische Theorie des Gesundheitswesens, 1994, S. 617ff

⁵⁶ Fuchs, V. R., The Future of Health Policy, 1993, S. 31

- * Die Nachfrage nach Gesundheitsgütern ist angebotsinduziert.
- * Die Messung des Outputs von Dienstleistungen ist oft sehr schwierig, weil dieser nicht in eindeutig physikalischen Größen ausdrückbar ist⁵⁷. Dadurch wird die Messung von Produktivitätssteigerungen erschwert.
- * Dienstleistungen sind nicht lagerfähig und weisen eine mangelnde Kapazitätselastizität auf. Das Kapazitätsproblem ist vor allem für kapitalintensive Dienstleistungsbetriebe (wie z.B. Krankenhäuser) verschärft, weil hier das Angebot starr ist. Soll einer Spitzenbeanspruchung nachgekommen werden, so führt dies zu einer strukturellen Überkapazität. Gleichzeitig entstehen unter Normalbeanspruchung Leerkapazitäten.

Ein sehr wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist die Tatsache, daß der Patient selbst Mitleistender ist. Soll die Funktionsweise des Gesundheitssystems verbessert werden, muß seine Mitleistung aktiviert und darf auf keinen Fall ausgeschaltet werden.

- Gesundheitsgüter sind *Zukunftsgüter*.

- * Hier ist vor allem auf das von Böhm-Bawerk⁵⁸ formulierte Gesetz der Minder- schätzung zukünftiger Güter zu verweisen: Der Konsument ist nicht bereit, für Güter, die er erst in der Zukunft nützen kann, bereits in der Gegenwart den nötigen Aufwand zur Verfügung zu stellen. Das Gewicht der Zukunftsprobleme wird rational geringer eingeschätzt.

Rationales Verhalten und das Gesetz der Minder- schätzung zukünftiger Güter führen dazu, daß die Zukunftsvorsorge der Konsumenten nur suboptimal ausfällt

- * Eine weitere Eigenschaft in diesem Zusammenhang ist die Unsicherheit, unter der die Akteure im Gesundheitswesen agieren. Ein bestimmter zukünftiger Gesund- heitszustand kann nie mit Sicherheit erreicht werden. Es kann nur die Wahrscheinlichkeit beeinflußt werden, mit der ein bestimmter Gesundheitszustand erreicht wird⁵⁹.

Risikoaversion und Unsicherheit bezüglich zukünftiger Güter schaffen Nachfrage nach einer Gesundheits- bzw. Krankenversicherung⁶⁰. Eine Krankenversicherung mildert die wirtschaftliche Konsequenz, welche die Unsicherheit des Gesundheitszustands für den einzelnen hat, weil sie medizinische Leistungen für Einzelfälle finanzieren kann, deren Kosten mehr als die Summe aller zukünftigen Einkommen ausmacht. Die Finanzierung dieser Kosten wäre für das einzelne Individuum schwer möglich.

⁵⁷ vgl. *Die Kosten-Nutzen-Analyse: Messungen des Outputs* Kap. 2.3.3.2

⁵⁸ Böhm-Bawerk, E., Kapital und Kapitalzins, 4. Aufl., Bd. 2, Stuttgart, 1961, S. 332ff; zitiert in: Herder- Dorneich, P., Ökonomische Theorie des Gesundheitswesens, 1994, S. 639

⁵⁹ Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), Sozial- und Präventivmedizin, 1996, S. 165f

⁶⁰ Fuchs, V. R., The Future of Health Policy, 1993, S. 32ff

Die Organisation einer solchen Versicherung kann nach dem Prinzip des Generationenvertrags durch das Umlageverfahren erfolgen:

Zum Ende jeder laufenden Periode werden die Ausgaben für Gesundheitsleistungen addiert und auf die Mitglieder umgelegt: Gesunde zahlen für Morbide, Jüngere für die Alten, Höher- für die Minderverdienenden. Jeder wechselt im Verlauf seines Lebens von einer belasteten Gruppe in eine begünstigte. Es kommt zu einem tendenziellen Ausgleich von Belastungen und Begünstigungen.

Die interpersonelle Umschichtung in einer solchen Gefahrengemeinschaft erweist sich als Mittel zur intertemporalen Einkommensumschichtung. Im Umlageverfahren wird der Bedarf der gegenwärtigen Verbraucher zur Belastung der gegenwärtigen Zahler. Der Beitrag der gegenwärtigen Zahler für ein Zukunftsgut wird durch die Umlage zur Befriedigung von Gegenwartsgütern verwendet. Zukunftsgüter werden dadurch in Gegenwartsgüter transformiert.

- Eine weitere Eigenschaft des Gutes Gesundheit ist die *asymmetrische Information*, die bezüglich des Bedarfs an Behandlungsmethoden vorliegt. Der Patient kann kaum beurteilen, ob eine bestimmte vom Arzt verschriebene Behandlung notwendig ist oder nicht.
- Gesundheitsgüter sind *Kollektivgüter*.

Hier kommt vor allem das Prinzip der Nicht-Ausschließbarkeit zum Tragen. Der Erhalt der Leistung (wie z.B. allgemeine Hygienemaßnahmen, Impfaktionen,...) ist nicht an die Erbringung einer Gegenleistung gekoppelt. Es tritt die Problematik des „Trittbrettfahrens“ („free rider“) auf, weil es für das Individuum rational ist, keine Gegenleistung zu erbringen.

Die Nicht-Ausschließbarkeit ist keine Eigenschaft der jeweiligen Leistung, sondern ist das Ergebnis sozialer und ökonomischer Organisation. Oft ist der Ausschluß von einer Leistung ökonomisch jedoch nicht sinnvoll, weil die Kosten den Nutzen übersteigen würden.

Als Strategie gegen die Probleme des Trittbrettfahrens und der asymmetrischen Information kann eine Zwangsversicherung eingeführt werden, in der jeder zur Erbringung einer Leistung verpflichtet ist.

Dieser Zwang leistet jedoch wieder dem moralischen Risiko („moral hazard“) Vorschub. In einem System mit Zwangsbeiträgen ist es rational, erbrachte Leistungen durch höhere Nachfrage „hereinzuholen“. Auch bei geringen in Anspruch genommenen Leistungen müssen Zwangsbeiträge gezahlt werden. Deshalb ist es rational, mehr Leistungen in Anspruch zu nehmen, um die Beiträge wieder hereinzubekommen. Es kommt zu einer

Übernutzung der medizinischen Versorgung und zu einem verminderten Anreiz zu präventiven Anstrengungen.

Als Strategie gegen „moral hazard“ kann wiederum eine Versicherung eingeführt werden, die nur bestimmte Ansprüche an Leistungen abdeckt.

Ein weiteres Lösungskonzept ist die *Selbstbeteiligung*, die durch eine finanzielle Beteiligung der Patienten an den Behandlungskosten die Nachfrage senken soll.

Hier tritt das Problem einer Verteilungswirkung auf. Die Selbstbeteiligung hat zur Folge, daß Mehr-Nachfrager (Kinderreiche, Rentner, ...) stärker belastet werden als Wenig-Nachfrager. Daher ist dieses Instrument politisch schwer durchsetzbar und mögliche Anstrengungen in diese Richtung könnten in einer zu geringen Selbstbeteiligung resultieren. So können aber die angestrebten Steuerungswirkungen und Senkungen der Versicherungsbeiträge, die eigentlich das Ziel dieses Instruments sind, nicht realisiert werden.

- Gesundheitsgütern werden *meritorische*⁶¹ Eigenschaften zugeschrieben.

Im Falle der Gesundheit wird die Nachfragefunktion in Nachfragen und Konsumieren zerlegt. Der Staat übernimmt Rolle des Nachfragers und zumeist auch die Zahlungsfunktion.

Gründe für Meritorik sind Altruismus und indirektes Eigeninteresse (Fernhalten von Krankheiten von sich selbst, ...).

Die Rolle von Staat und Institutionen im Gesundheitswesens

Die Gesundheitsgüter sind *Mischgüter*, die Eigenschaften von Dienstleistungen, Kollektiv- und Zukunftsgütern sowie meritorischen Leistungen aufweisen.

Aus diesem Grund sind Gesundheitsgüter nicht leicht zu organisieren. Durch bestimmte Eigenschaften wie die Nicht-Ausschließbarkeit, Anteilnahme des Konsumenten an der Produktion und Minderschätzung zukünftiger Güter kommt es zu einer Unterversorgung in einem Zwei-Aggregate-System. Infolgedessen kommt es zu einer Erweiterung der Zwei-Aggregate-Ökonomie, in der sich nur Nachfrager und Anbieter gegenüberstehen, zu einer Mehr-Aggregate-Ökonomie, in der auch Verbände und der Staat miteinbezogen werden.

Ein weiterer Grund für die u.a. auch umverteilenden, staatlichen Eingriffe in die Gesundheitsversorgung, ist die Überzeugung, daß die Gesundheitsverteilung nicht einkommensabhängig sein darf.

⁶¹ *Meritorik*: Die Erbringung von Diensten ohne eine Gegenleistung zu erwarten.

Somit übernimmt der Staat in den Industrieländern vielfach die Rolle des Regulators, des Subventionsbereitstellers sowie des Käufers und Produzenten von medizinischen Leistungen⁶².

2.3.3 Evaluation von Gesundheitsmaßnahmen

2.3.3.1 Allgemeine Bemerkungen

In den letzten Jahren kam es zu einem Wandel der Einstellung zum Gesundheitswesen. Der kostenbewußte Umgang mit vorhandenen Ressourcen beginnt Aspekte wie die neueste Technologie und rein wissenschaftsorientierte Entwicklungen zurückzudrängen. Innovative Therapien (pharmazeutische Produkte und alternative Behandlungsformen) werden deshalb nicht mehr nur auf Einsetzbarkeit und Sicherheit hin überprüft, sondern auch auf Wirksamkeit und Kosteneffektivität⁶³.

Für die Gesundheitsförderung ist die ökonomische Evaluation Voraussetzung für die Etablierung als wissenschaftlich fundierter sowie ökonomisch effizienter Teil des Gesundheitswesens und deshalb von großer Bedeutung⁶⁴.

Durch die Rationierung der Ressourcen im Gesundheitswesen allgemein und somit auch in der Gesundheitsförderung ist es notwendig, das ökonomisch Sinnvolle aus dem medizinisch Möglichen auszuwählen. Medizinische Kosten-Nutzen-Rechnungen stellen nur partielle Analysen dar, die den Ressourcenverzehr nicht berücksichtigen. Ökonomische Analysen dagegen berücksichtigen zusätzlich auch subjektive Werte, wie Sicherheitsgefühle oder Annehmlichkeiten der Behandlung, und indirekte Nachteile⁶⁵.

Knappheit macht Effizienz notwendig, die das Verhältnis von Input zu Output darstellt. Es kommt zur Anwendung eines Konzepts, das in einer Maximierung der Verbesserungen in der Gesundheit zu minimalen Kosten oder in der Minimierung der Kosten einer Verbesserung der Gesundheit um ein bestimmtes Ausmaß besteht. Ohne die Evaluation der Effizienz würde es zu einer ineffizienten Allokation der Ressourcen kommen. Viele Gesundheitsförderungs-Programme sind nicht evaluiert und basieren auf gutgemeinten Vermutungen über den Nutzen der einzelnen Maßnahmen.

⁶² Fuchs, V. R., *The Future of Health Policy*, 1993, S. 32ff

⁶³ Kobelt-Nguyen, G., *Wegweiser zur Gesundheitsökonomie*, 1996, S. 8ff

⁶⁴ Dür, W., Pelikan, J. M. (Hrsg.), *Qualität in der Gesundheitsförderung. Ansätze und Beispiele zur Qualitätsentwicklung und Evaluation*, Wien: Facultas-Universitätsverlag, 1998, S. 10

⁶⁵ Indirekte Nachteile entsprechen dem Konzept der *Opportunitätskosten*: Was ist der Wert der entgangenen Alternative, wenn knappe Ressourcen für ein bestimmtes Verfahren eingesetzt und somit für die alternative Verwendungsmöglichkeit nicht mehr zu Verfügung stehen.

Bei der Entscheidung, ob eine bestimmte Gesundheitsförderungs-Initiative ins Leben gerufen werden soll, muß darauf geachtet werden, daß der Gesamtnutzen größer ist als die Gesamtkosten.

Es gibt ein effizientes Niveau, über dem durch die Lebensrettung und die Linderung von Schmerzen Ressourcen mißbraucht werden. Dafür spricht die Tatsache, daß nicht jede Krankheit behandelt werden kann. Auch die Veränderung von Verhaltensweisen ist nur bis zu einem gewissen Ausmaß effizient. Über diesem Niveau können die Ressourcen anderswo effizienter eingesetzt werden.

Wenn der Grenznutzen (der Nutzen einer zusätzlichen Einheit) gleich den Grenzkosten (die Kosten einer zusätzlichen Einheit) ist, dann ist ein effizientes Niveau gegeben⁶⁶.

2.3.3.2 Arten der ökonomischen Evaluation⁶⁷

- ◆ *Krankheitskosten-Ansatz*: Hier wird nur die Kostenseite untersucht, indem die gesellschaftlichen Kosten der Krankheiten ermittelt werden. Die Effekte bzw. Outputs werden nicht berücksichtigt.
- ◆ *Kosten-Minimierungs-Ansatz*: Es werden ebenfalls nur die Kosten untersucht, aber im Vergleich von alternativen Interventionen für ein Gesundheitsproblem. Für die verglichenen Interventionen wird die gleiche Effektivität unterstellt.
- ◆ *Kosten-Effektivitätsanalyse*: Die Anwendung dieses Konzepts ist nur für vergleichbare Effekte möglich. Hier werden die zusätzlichen Kosten und Effekte (klinische Parameter, Lebensdauer und -qualität) einer Intervention im Vergleich zu einer Basisalternative erhoben.
- ◆ *Kosten-Nutzwert-Analyse*: Der Gesundheitszustand wird in Nutzeneinheiten bewertet. Diese Einheiten werden über die Zeit zu Nutzwerten zusammengefaßt, die dann zwischen den verschiedenen Interventionen verglichen werden können.
- ◆ *Kosten-Nutzen-Analyse*: Hier werden alle Effekte in Geldeinheiten bewertet. So können Aufwendungen im Gesundheitsbereich untereinander und mit Investitionen in anderen Bereichen verglichen werden. Das Problem dieses Ansatzes liegt in der Monetarisierung der einzelnen Größen.

Die Kosten-Nutzen-Analyse

In diesem Ansatz erfolgt ein Vergleich von Kosten (Inputs bzw. verbrauchte Ressourcen) und Nutzen (Outputs) alternativer Gesundheitsmaßnahmen.

⁶⁶ Maynard, A., The Relevance of Health Economics to Health Promotion, 1991, S. 30ff

⁶⁷ Leidl, R., Der Effizienz auf der Spur: Eine Einführung in die ökonomische Evaluation, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al. (Hrsg.), Das Public-Health Buch, 1998, S. 350f

In die *Messung der Inputs* werden folgende Größen miteinbezogen⁶⁸:

- Direkte Kosten (Medikamente, Ausrüstung, Personal, ...)
- Indirekte Kosten: Produktionsverluste durch krankheits- oder behandlungsbedingte Arbeitsausfälle. Hier treten methodologische Probleme hinsichtlich der Bewertung der verlorenen Arbeitszeit auf.
- Intangible, immaterielle Kosten: Diese Größe beinhaltet die Verminderung der Lebensqualität durch Schmerz und Leiden in der Arbeit und Freizeit.

All diese Kostenelemente stellen Opportunitätskosten dar, die aus der Krankheit und ihrer Behandlung entstehen.

In der *Messung der Outputs* werden folgende Größen berücksichtigt⁶⁹:

- Gesundheits- oder medizinische Effekte: Diese werden durch Mortalitäts- bzw. Morbiditätsdaten erhoben. Die Mortalität wird in geretteten Leben bzw. zusätzlichen Lebensjahren gemessen. Die Lebensqualität hingegen wird nicht berücksichtigt.
- Ökonomische Effekte - Schätzung der durch die Gesundheitsförderung bzw. -versorgung vermiedenen Kosten sowie eingesparten Ressourcen:
 - * Ersparte Gesundheitsausgaben und Zeitkosten für Pflege (direkter Nutzen)
 - * Produktionsnutzen (indirekter Nutzen)
 - * Immaterieller Nutzen, wie z.B. vermiedenes Leid
- Wert der Gesundheitsverbesserungen:

Dem Leben und den Verletzungen wird nach den folgenden alternativen Methoden ein monetärer Wert zugerechnet:

* *Humankapitalansatz*: Der Wert eines Lebens entspricht dem Lebenseinkommen einer Person, das diskontiert wird. Problematik: Das Leben im Ruhestand wird nicht berücksichtigt und Frauenleben werden aufgrund ihres niedrigeren Verdienstes geringer eingeschätzt.

* *Zahlungsbereitschaft*: Individuen werden nach ihrer persönlichen Zahlungsbereitschaft befragt. Problematik: Würden die Individuen wirklich jene hohen Beträge, die teilweise aus den Befragungen resultieren, zahlen?

* *quality-adjusted-life-years (QALY)*:

In diesem Ansatz wird einem Lebensjahr in guter Gesundheit der Wert = 1 zugerechnet. Eine Gesundheitsförderungsmaßnahme, die den QALY-Wert für ein Jahr von 0,5 auf 0,8 anhebt, ist gleich zu bewerten wie eine alternative Maßnahme, die den QALY-Wert einer anderen Person von 0,6 auf 0,9 anhebt. Mit Hilfe dieses Indikators kann der Nutzen von Gesundheitsmaßnahmen gemessen werden.

⁶⁸ Kobelt-Nguyen, G., Wegweiser zur Gesundheitsökonomie, Wien, 1996, S. 18ff; Maynard, A., The Relevance of Health Economics to Health Promotion, 1991, S. 35ff

⁶⁹ ebenda, S. 37ff

Die Problematik bei diesem Konzept stellen die unterschiedlichen Maßstäbe dar, mit deren Hilfe die Lebensqualität bewertet wird. Dadurch wird die Vergleichbarkeit eingeschränkt.

2.3.3.3 Grenzen der Evaluation

Die oben genannten Bewertungsmethoden weisen jedoch Grenzen auf. Die Bewertungen stellen keinesfalls „absolute“ Ergebnisse dar, sondern beruhen auf den in einer spezifischen gesellschaftlichen Situation vorherrschenden Einstellungen und Werten⁷⁰. Deshalb darf die Einführung von Präventionsmaßnahmen nicht nur anhand der Ergebnisse von Kosten-Nutzen-Abwägungen entschieden werden.

Die ökonomischen Methoden zur Kosten-Nutzen-Evaluierung weisen also Schwächen auf, die bei der Entscheidung zwischen den zu bewertenden Alternativen berücksichtigt werden müssen. So beeinflussen etwa die Menge und Qualität der verfügbaren Daten oder die Wahl der Annahmen (Diskontsätze, ...) das Ergebnis nachhaltig. Auch die monetäre Bewertung von Leben stellt ein erhebliches ethisches Problem dar.

Die Ökonomie ist nur eine von mehreren Disziplinen, die Grundlagen für Entscheidungen in der Gesundheitsförderung liefern können. Eine Zusammenarbeit mit den anderen Disziplinen in einem interdisziplinären Ansatz und unter Berücksichtigung politischer, sozialer und ethischer Aspekte ist notwendig, um eine effiziente „gesunde“ Politik zu produzieren und Ressourcenverschwendungen zu vermeiden⁷¹.

⁷⁰ Münnich, F. E., Ökonomische Aspekte der Prävention, 1989, S. 64

⁷¹ Maynard, A., The Relevance of Health Economics to Health Promotion, 1991, S. 29ff

3 Physikalische und physiologische Grundlagen zum Thema Licht⁷²

3.1 Licht und Gesundheit

3.1.1 Allgemeine Grundlagen

Das Spektrum des Lichts⁷³

Licht ist elektromagnetische Strahlung bestimmter Wellenlänge.

Die Filterwirkung der Atmosphäre sorgt dafür, daß nur derjenige Anteil der elektromagnetischen Strahlung an die Erdoberfläche gelassen wird, den wir als Licht bezeichnen. Die restliche Strahlung unter 290 nm und über 3.000 nm (etwa Röntgen- oder Gammastrahlung) durchdringt die Atmosphäre in nicht nennenswertem Ausmaß. Die gefährliche Strahlung wird zum größten Teil herausgefiltert (vgl. Abbildung 1).

Licht wird unterteilt in sichtbares Licht und nicht sichtbares Licht. *Sichtbares Licht* beinhaltet die Wellenlängen im Bereich zwischen 380-780 nm. *Nicht sichtbares Licht* unterteilt sich in das ultraviolette (UV)-Licht, dessen Wellenlängen unter diesem Bereich liegen und in die Infrarot-Strahlung, deren Wellenlängen sich im Bereich über 780 nm befinden.

Für UV-Licht wird üblicherweise die folgende Unterteilung vorgenommen:

- * 100-280 nm UV-C (gefährliche Wirkung, trifft normalerweise nicht auf die Erdoberfläche auf)
- * 280-320 nm UV-B
- * 320-380 nm UV-A (weitere Unterteilung in UV-A₁: 340-380 nm und UV-A₂: 320-340 nm)

⁷² In dieser Arbeit werden die Begriffe *Sonnenlicht* und *(natürliches) Tageslicht* durchgehend als Synonyme verwendet.

⁷³ Falkenbach, A., Sonne und Mensch. Nutzen und Risiko ultravioletter Strahlung, Hamburg: Verlag Dr. Kovac, 1995; Weratschnig, A., Tageslicht und Sonnenenergie, Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 1993

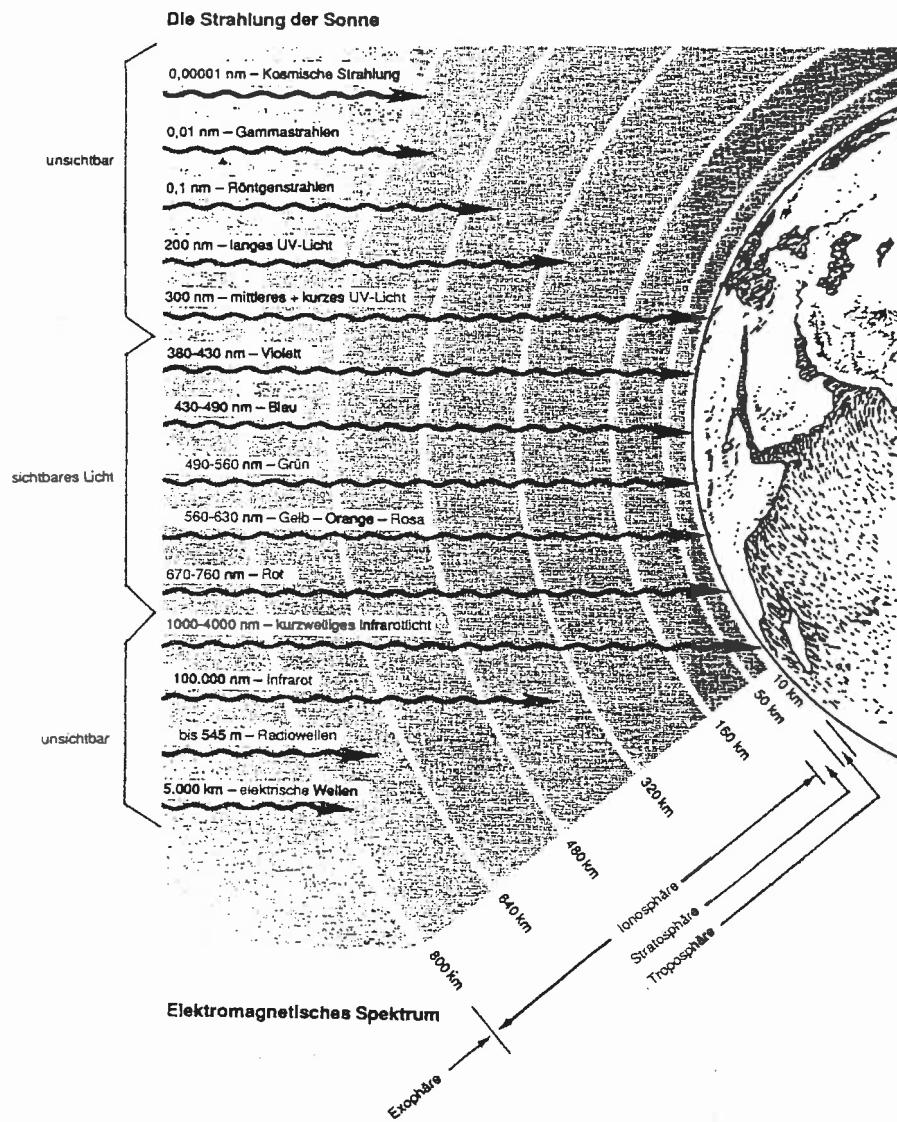


Abbildung 1: Spektren der elektromagnetischen Strahlung; Quelle: Kime, Z. R., Sonnenlicht und Gesundheit, Ritterhude: Waldthausen Verlag, 1995, S. 23

Farben

Die Oberflächen der Gegenstände, die uns umgeben, reflektieren und absorbieren bestimmte Wellenlängen des auftreffenden Lichts. Das farbige Aussehen der Gegenstände hängt davon ab, welche Teile des Lichts reflektiert werden. Ein weißer Körper z.B. reflektiert das auftreffende Licht „unverändert“. Die Farbe Weiß entsteht also durch die Reflexion aller Wellenlängen des sichtbaren Lichts. Ein schwarzer Körper hingegen absorbiert alle Lichtquanten des sichtbaren Spektralbereichs. Wesentlich ist deshalb auch

die spektrale Zusammensetzung des Lichts⁷⁴, mit dem der Körper beleuchtet wird (auch ein ideal weißer Körper erscheint z.B. gelb, wenn er mit monochromatischem Licht von 590 nm beleuchtet wird).

Lichtfarbe, Farbtemperatur⁷⁵

Die *Lichtfarbe* einer Lichtquelle bestimmt das Farbklima des ausgeleuchteten Raumes und hat vor allem psychologische Einflüsse. Jede Lichtfarbe wirkt anders auf den Menschen. Sie wird in Form ihrer ähnlichsten *Farbtemperatur* angegeben. Die Farbtemperatur sagt jedoch nichts über die Farbwiedergabeeigenschaften einer Lichtquelle aus.

Farbwiedergabe⁷⁶

Diese Größe gibt an, wie genau die Farben und Farbkontraste eines Objekts durch eine bestimmte Lichtquelle wiedergegeben werden. Gegenstände können nur diejenigen Farben reflektieren, die in dem sie bestrahenden Licht enthalten sind. Durch fehlende Wellenlängen kann es zu Farbverfälschungen der bestrahlten Gegenstände kommen.

Zum Zweck der Vergleichbarkeit verschiedener Lichtquellen gibt es den Farbwiedergabeindex: R_a ⁷⁷, der ein Maß für die Güte der Farbwiedergabe einer Lichtquelle darstellt. Ein Wert von 100 bedeutet eine dem Tageslicht entsprechende Farbwiedergabe (natürliches Tageslicht hat also den R_a von 100).

Anhand der beiden Größen Lichtfarbe und Farbwiedergabe wird die Qualität von Lichtquellen beurteilt.

Sonnenlicht

Das Licht der Sonne besitzt ein kontinuierliches Spektrum und einen ausgewogenen Anteil aller Wellenlängen⁷⁸. In ihm sind sowohl UV-Licht, sichtbares Licht als auch Infrarot-Strahlung enthalten. Ein weiteres wichtiges Kennzeichen des Sonnenlichts ist die Variation der spektralen Zusammensetzung zu den verschiedenen Tageszeiten. So überwiegen z.B. am Morgen und am Abend die rot-gelben, mittags die blauen Anteile. Die tages- und jahreszeitlichen Schwankungen machen das natürliche Tageslicht für den Menschen interessant.

⁷⁴ vgl. nachfolgenden Abschnitt *Farbwiedergabe*

⁷⁵ Böcker, W., Künstliche Beleuchtung: Ergonomisch und energiesparend, Schriftenreihe - Humanisierung des Arbeitslebens, Band 15, Frankfurt, New York: Campus Verlag, 1981; Technisches Datenblatt, Der Stoff der leuchtet, Fa. True-Lite (ohne nähere Angaben)

⁷⁶ Hartl, S., Licht und Mensch, Diplomarbeit, Laxenburg, 1990; Technisches Datenblatt, Der Stoff der leuchtet

⁷⁷ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Künstliche Beleuchtung von Innenräumen. Begriffsbestimmungen und allgemeine Anforderungen, ÖNORM O 1040, April 1984, S. 13

⁷⁸ vgl. Abbildung *Spektrum des natürlichen Tageslichts* im Anhang

Eine Eigenschaft, die das natürliche Tageslicht für das menschliche Auge angenehm macht, ist die Konstanz im und unterhalb des Bereichs der Zeitschwelle des menschlichen Auges. Sonnenlicht stellt somit ein gleichmäßiges und kontinuierliches Licht dar.

3.1.2 Der Sehvorgang⁷⁹

Allgemeine Vorgänge in der Netzhaut und im Gehirn

Ein in den Zapfen oder Stäbchen wirksam absorbiertes Lichtquant führt zu einem photochemischen Prozeß, bei dem der Sehpurpur in den Sehzellen ausbleicht, und zu einer nachfolgenden Regeneration des Sehstoffes. Diese chemischen Vorgänge in der Netzhaut haben eine Erregung der Nervenzellen zur Folge, die zu einer entsprechenden Hellempfindung führen und das vom Auge aufgenommene „Bild“ an das Gehirn weiterleiten. Beim Vorgang des Sehens werden also optische Reize in Nervenimpulse umgewandelt, die in der Folge im Gehirn verarbeitet werden.

Die Beleuchtungsbedingungen im Zusammenhang mit den Eigenschaften der Sehobjekte (wie etwa Reflexionsgrade, Kontraste, Textur der Oberfläche, Formen, Farben, etc.) beeinflussen die Sehleistung und die psychische Arbeitsbeanspruchung sehr stark. Das Gehirn hat eine begrenzte Informationsverarbeitungskapazität. Bei ungünstiger Beleuchtung wird wesentlich mehr Kapazität benötigt, die dann für die eigentliche geistige Arbeit nicht mehr zur Verfügung steht. Das Gehirn kann also auch unter schlechten Wahrnehmungsbedingungen noch brauchbare Bilder errechnen. Dadurch merkt man unmittelbar gar nicht, wie gut oder schlecht die Beleuchtung ist. Jedoch steht weniger Leistungskapazität für die übrige zu leistende Arbeit zur Verfügung und es kommt zu einer größeren psychischen Anspannung und Arbeitsbeanspruchung. Als Folge tritt raschere Ermüdung ein.

Brechkraft, Akkommodation

Unter *Brechung* versteht man die Richtungsänderung eines Lichtstrahls beim Übergang von Luft in ein anderes Medium. Entspricht die Grenzfläche zwischen den beiden Medien der Oberfläche einer Kugel, so entsteht dadurch eine Abbildung, d.h. alle von einem Gegenstand ausgehenden Strahlen treffen sich wieder in einem Punkt jenseits der Grenzfläche. Das Auge ist ein optisches System, das aus mehreren Medien und Grenzflächen (Hornhaut, Augenkammern, Linse und Glaskörper) besteht.

Die *Brechkraft* des Auges wird in Dioptrien (dpt) angegeben.

⁷⁹ Fröschl, N., Einfluß von Licht auf den menschlichen Organismus unter besonderer Berücksichtigung der Konzentration, Diplomarbeit, Universität Wien, 1990; Hartl, S., Licht und Mensch, 1990; Weratschnig, A., Tageslicht und Sonnenenergie, 1993

Die gesamte Brechkraft des Auges beträgt etwa 65 dpt, wovon 42 dpt von der Hornhaut und 23 dpt von der Linse übernommen werden. Weitere 14 Dioptrien können durch Anpassung für das Nahsehen (Akkommodation) gewonnen werden⁸⁰.

Die *Akkommodation* ist die Fähigkeit des Auges, sein optisches System auf Gegenstände beliebiger Entfernung einzustellen, sodaß ein scharfes Abbild entsteht.

Im Ruhezustand ist das Auge normalerweise in die Ferne eingestellt, die Aufhängefasern des Ziliarmuskels (Zonulafasern) ziehen die Linse in die Länge, flachen sie ab und verringern so die Brechkraft. In diesem Zustand treffen von einem betrachteten Gegenstand ausgehende Strahlen parallel ins Auge.

Nähert sich das Objekt jedoch dem Auge, erreichen die Strahlen das Auge nicht mehr parallel, sondern immer mehr divergierend, so daß sich die Abbildungsebene immer weiter von der Linse entfernt. Damit die Abbildung trotzdem scharf bleibt, muß die Brechkraft der Linse erhöht werden, was durch eine Veränderung des Krümmungsradius erfolgt. Der Ziliarmuskel zieht sich zusammen, entspannt so die Zonulafasern, die Linse kann dem Zug ihrer eigenen elastischen Fasern folgen und wölbt sich stärker nach vor, wodurch ihre Brechkraft vergrößert wird und das Auge somit auf Nahsehen eingestellt ist.

Bei Erschlaffung des Muskels werden die Zonulafasern wieder gespannt, die Linse wird flacher und ist auf Fernsicht eingestellt (= Ruhezustand).

Es gibt aber auch eine Begrenzung der Akkommodation, den sogenannten *Nahpunkt*. Das ist jene Entfernung, bei der ein Gegenstand unter größtmöglicher Akkommodation noch scharf gesehen wird. Dieser Nahpunkt ist ein Maß für die Akkommodationskraft. Im Alter, aber auch durch Ermüdung, rückt der Nahpunkt weiter vom Auge weg; die Geschwindigkeit und die Präzision der Akkommodation nehmen ab.

Der *Fernpunkt* hingegen ist jener Punkt, den man in der Entfernung noch scharf sehen kann.

Jener Betrag, um den die Brechkraft der Linse maximal erhöht werden kann, wird die *Akkommodationsbreite* genannt. Diese Größe ist im jugendlichen Alter am höchsten (ca. 12-14 dpt), nimmt mit dem Alter jedoch ab.

Eine weitere Reaktion des Auges auf unterschiedliche Entfernungen von Gegenständen ist die Variation der Pupillenweite. Bei nahe gelegenen Objekten verengt sich die Pupille, bei weiter entfernten Gegenständen vergrößert sie sich.

Das Farbensehen⁸¹

Im Auge gibt es drei verschiedene Zapfen-Typen, die jeweils in den Bereichen von Rot, Grün und Blau unterschiedlich empfindlich sind. Jeder Wellenlängenbereich erzeugt meist

⁸⁰ Rabl, A., Wirkungen eines multimodalen psychologischen „Augenübungsprogramms“ auf die Sehleistung bei Patienten mit Refraktionsanomalien, Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, März 1998, S. 5f

⁸¹ vgl. Farben Kap. 3.1.1

in allen drei Zapfentypen einen unterschiedlich starken Reiz, der verschieden starke elektrische Impulse an das Gehirn weiterleitet und dort eine entsprechende Farbempfindung entstehen lässt.

Die drei Zapfentypen generieren die drei „Urfarben“ Orange-Rot, Grün und Violett-Blau. Je nach Zusammensetzung des auf der Netzhaut eintreffenden Farbreizes, werden die drei Zapfentypen in bestimmter Weise angesprochen und senden ihre Codes über die optischen Nervenbahnen ins Gehirn. Es ergeben sich Farbkombinationen: Die Farbe Weiß entsteht, wenn alle drei Zapfentypen „feuern“; bei der Farbe Schwarz bleiben alle drei Zapfentypen unerregt.

Adaptation, spektrale Hellempfindlichkeit

Unter *Adaptation* versteht man die Anpassung des Auges an die im Gesichtsfeld herrschende mittlere Leuchtdichte. Die Adaptation erfolgt durch eine Änderung der Pupillenweite, durch Übergang vom Zapfen- zum Stäbchensehen, durch Empfindlichkeitsveränderung von Zapfen und Stäbchen sowie durch Zusammenschaltung mehrerer Zapfen und Stäbchen zu höheren Empfängereinheiten.

Bei der *Dunkeladaptation* senkt sich die Reizschwelle der Sehzellen, die Sehschärfe wird reduziert. Beim Vorgang der *Helladaptation*, die wesentlich rascher vor sich geht, kommt es zu einer Anpassung von geringer zu hoher Leuchtdichte.

Die *spektrale Hellempfindlichkeitskurve* beschreibt die Empfindlichkeit des Auges für verschiedene Wellenlängen. Das Auge ist für blaues und rotes Licht wesentlich weniger empfindlich als für Licht im mittleren Wellenlängenbereich (grünes, gelbes Licht). Das helladaptierte Auge (Tages- bzw. Zapfensehen) hat das Maximum der Hellempfindung bei 555 nm, das dunkeladaptierte Auge (Stäbchensehen) bei 510 nm. Die Hellempfindung des Auges ändert sich also mit sinkender Leuchtdichte.

Sehschärfe, Flimmerverschmelzungsfrequenz

Die *Sehschärfe* gibt an, unter welchem kleinsten Winkel α (gemessen in Bogenminuten) zwei Punkte noch getrennt wahrgenommen werden können. Je kleiner der Winkel, desto größer ist die Sehschärfe⁸².

Schnell hintereinander dargebotene Lichtreize werden als kontinuierlicher Hell-Eindruck wahrgenommen. Die *Flimmerverschmelzungsfrequenz* gibt jene Schwelle an, ab welcher Lichtblitze zu einem gleichmäßigen Hell-Eindruck verschmelzen.

Diese Frequenz hängt vom Adaptationsniveau ab. Das helladaptierte Auge ist wesentlich flimmerempfindlicher als das dunkeladaptierte. Die Flimmerverschmelzungsfrequenz

⁸² Böcker, W., Künstliche Beleuchtung, 1981, S. 16

steigt mit höherer Adaptationsleuchtdichte. Bei hellerer Beleuchtung werden somit höhere Anforderungen an die Frequenz periodisch wechselnder Lichtreize gestellt⁸³.

3.1.3 Biologische Wirkungen des natürlichen Lichts

3.1.3.1 Allgemeine Einführung

Circadiane Rhythmen⁸⁴

Im menschlichen Organismus kann man tagesrhythmische Veränderungen (circadiane Rhythmen) beobachten. Abhängig von der Tageszeit ändern sich die Parameter verschiedener Vitalfunktionen im menschlichen Körper. Durch diese sich regelmäßig variierenden und wiederholenden Sequenzen entsteht ein Zeitprogramm, das auch „innere Uhr“ genannt wird.

Die circadiane Rhythmisik kann durch *Zeitgeber* mit der Erde synchronisiert werden. Solche Zeitgeber sind z.B. Licht und Temperatur. Allein die Änderung der spektralen Zusammensetzung des Lichts kann als Zeitgeber fungieren (Licht im Blaubereich etwa hat einen Einfluß auf die Atmung, die RNA- und Proteinsynthese; Licht im Rotbereich führt zur Hemmung chromosomaler Reparaturmechanismen).

Rhythmusstörungen bzw. Störungen in der circadianen Ordnung können aufgrund von wechselnden Umweltbedingungen oder etwa einem Wechsel der Arbeitsrhythmisik (Schichtarbeit, ...) auftreten. Es ist keine Regeneration und Erholung von Energiereserven in der Nacht möglich. Die Folgen sind Konzentrationsstörungen, Leistungsabfall und erhöhte Krankheitsanfälligkeit.

Wege, über die Licht wirkt

- *Über das Auge*

Laut Hollwich⁸⁵ laufen beim Lichteinfall in das Auge zwei Prozesse ab:

- * Einerseits der Sehvorgang selbst, der über den *optischen Teil* der Sehbahn initiiert wird.

⁸³ vgl. *Leuchtstofflampen* Kap. 3.1.4.1

⁸⁴ Fröschl, N., Einfluß von Licht auf den menschlichen Organismus unter besonderer Berücksichtigung der Konzentration, 1990

⁸⁵ Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, New York, Heidelberg [u.a.]: Springer-Verlag, 1979

bei der *indirekten*, etwas verzögerten Pigmentierung durch UV-B wird die Bildung von Melanin induziert und eine länger anhaltende Bräune erzeugt. Neben der Melaninbildung stellen der Aufbau von Vitamin D und der Abbau von Bilirubin weitere Wirkungen des UV-Lichts über die Haut dar⁹⁰.

Zu einer negativen Wirkung der Bestrahlung mit Licht kann es vor allem bei Wellenlängen im Bereich zwischen 290 und 320 nm (UV-B) kommen. Hier liegt der wirksamste Strahlenbereich zur Erzeugung eines Erythems (Entzündungsreaktion in der Haut). Folglich kommt es hier häufiger zur Ausbildung eines Sonnenbrands.

Im Bereich unter 290 nm hat die DNS ihr Absorptionsmaximum. Vermehrte Schäden an der DNS können bei häufiger Bestrahlung in diesem Wellenlängenbereich die Folge sein. Es gibt jedoch auch ein Reparatursystem, das diese Schäden bis zu einem gewissen Umfang wieder beseitigen kann. Interessant in diesem Zusammenhang ist, daß gerade UV-Licht (im UV-A-Bereich) diese Reparaturmechanismen auslöst.

3.1.3.2 Wirkungen des Lichts auf verschiedene Körperfunktionen des Menschen

Vitamin D⁹¹

Die Bildung von Vitamin D ist eine der bedeutendsten Wirkungen von Licht auf den menschlichen Organismus. 90% des menschlichen Bedarfs an Vitamin D werden bei ausreichender Sonnenexposition durch eine UV-induzierte Umwandlung in der Haut gedeckt. Die höchste Bildungsrate weist Vitamin D bei dem Wellenlängenbereich um 295 nm auf.

Melanin hat in diesem Bereich ebenfalls sein Absorptionsmaximum. So entsteht eine Konkurrenz um die Erreger-Protonen mit entsprechender Wellenlänge. Deshalb ist die Synthese von Vitamin D₃ maßgeblich vom Bräunungszustand der Haut abhängig. Die Bräunung der Haut und auch die Verwendung von Sonnenschutzmitteln behindern die Vitamin D-Bildung. Deshalb sind auch dunkelhäutige Menschen, die in einer Region mit geringer Sonneneinstrahlung leben, anfällig für einen Mangel an Vitamin D.

In Mitteleuropa kommt es in den Wintermonaten aufgrund des fehlenden Spektrums von 295 nm zu einem Absinken der Vitamin D-Konzentration im Blut. An einem sommerlichen Tag wird 50mal mehr Vitamin D₃ als an einem Wintertag⁹² gebildet.

⁹⁰ vgl. Kap. 3.1.3.2

⁹¹ Falkenbach, A., Sonne und Mensch, 1995

⁹² Warnke, U., Der Mensch und die dritte Kraft, Saarbrücken: Popular Academic Verlags-Gesellschaft, 1997, S. 133

Die Bedeutung des Vitamin D liegt vor allem in seiner antirachitischen Wirkung, in der Förderung der Calcium-Resorption im Dünndarm und in der Mineralisierung der Knochen⁹³.

Vitamin A⁹⁴

Die UV-Strahlung fördert auch den Aufbau von *Vitamin A*. Vitamin A ist vor allem für das Dämmerungssehen von Bedeutung. Es spielt bei der Bildung des Sehstoffes eine wichtige Rolle. Bei einem Mangel kann es zu Störungen der Sehfunktion wie etwa der Nachtblindheit kommen.

Knochenstoffwechsel⁹⁵

UV-Strahlen haben indirekt über die vermehrte Synthese von Vitamin D einen Einfluß auf den Knochenstoffwechsel. Das durch Sonnenlicht synthetisierte Vitamin D fördert die intestinale Calcium-Aufnahme und trägt dadurch indirekt zur Mineralisation der Knochen bei. Somit hat die niedrige UV-Bestrahlung im Winter, die einen Mangel an Vitamin D nach sich zieht, eine Reduktion der Knochendichte zur Folge. Fehlende UV-Bestrahlung zieht einen schnelleren Knochenabbau nach sich. Die Knochen werden weich. Es können Rachitis (bei Kindern) bzw. Osteomalazie (bei Erwachsenen) entstehen⁹⁶.

Zirbeldrüse (Epiphyse), Melatonin⁹⁷

In der Zirbeldrüse erfolgt die Produktion des Hormons Melatonin. Durch dieses Hormon teilt die Epiphyse dem Körper mit, wann er arbeiten bzw. ausruhen soll.

Die Zirbeldrüse wandelt Nervenreize in hormonelle Stimuli um und gibt diese weiter an die Geschlechts-, Hirnanhang- und Schilddrüse sowie die Nebennierenrinde. Sie hat u.a. die Aufgabe, das vorzeitige Einsetzen von Pubertät und Geschlechtsreife zu verhindern. Auch der Wechsel von kataboler (energiefreisetzender) zu überwiegend anaboler Stoffwechsellsage (Reparaturprozesse, Entgiftung der Zellen) in der Nacht wird durch die Zirbeldrüse geregelt.

Licht, das über Nervenbahnen von der Netzhaut zum Hypothalamus übertragen wird, beeinflußt die Ausschüttung von Melatonin. Wird es dunkler, beginnt die Epiphyse verstärkt Melatonin auszuschütten⁹⁸.

⁹³ vgl. nachfolgenden Abschnitt *Knochenstoffwechsel*

⁹⁴ Hartl, S., Licht und Mensch, 1990

⁹⁵ Falkenbach, A., Sonne und Mensch, 1995, S. 140ff

⁹⁶ Zur Behandlung bzw. Vorbeugung vgl. *Therapie mit ultravioletter Strahlung* Kap. 3.1.3.3

⁹⁷ Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, 1979, S. 13ff

⁹⁸ Ott, J., The Eyes' Dual Function - Part II, Eye-Ear-Nose-Throat-Monthly, Vol. 53(8), Aug. 1974, S. 309-316

Kommt es zu einer Störung des Freisetzungsrhythmus von Melatonin, z.B. durch die Einwirkung von Licht, so kann dies durch unzureichende Regeneration der Zellen und des Immunsystems zu dauerhaften Gesundheitsstörungen führen⁹⁹.

Cholesterin

Cholesterin ist ein wichtiger Bestandteil der Körperzellen und der Haut. Es hat vielfältige Aufgaben zu erfüllen: Es spielt bei der Synthese von Hormonen eine Rolle, bei der Produktion von Gallensäuren und der Verteilung von Fetten in den Blutbahnen. Nur wenn die Konzentration von Cholesterin zu hoch ist, kommt es zu schädigenden Fettablagerungen an den Arterienwänden, deren Folgen u.a. Herzgefäßerkrankungen oder Schlaganfall sind¹⁰⁰.

Die Absorptionswellenlänge des Cholesterins liegt im UV-Bereich¹⁰¹. Aus diesem Grund kann UV-Licht die Cholesterinwerte senken und dadurch vor Arteriosklerose schützen¹⁰².

Leber-Stoffwechsel, Bilirubin

Bilirubin entsteht aus dem Abbau von Hämoglobin. Dieser Stoff ist nicht wasserlöslich und deshalb auch nicht harnfähig. Er muß erst in der Leber zu einem anderen Stoff umgebaut werden, um über die Gallenwege in den Darm eliminiert werden zu können. Geschieht dies nicht, reichert er sich im Körper an und führt zu Gelbsucht. In weiterer Folge können sogar Hirnschäden die Folge sein¹⁰³.

Gelbsucht (Hyperbilirubinemia) ist vor allem bei Neugeborenen, deren Leberstoffwechsel noch nicht voll funktionsfähig ist, weit verbreitet. Sie können Bilirubin nicht effizient abbauen.

Der Einsatz von Lichttherapie ermöglicht eine Umwandlung von Bilirubin in eine nicht-toxische Substanz.

Weitere Wirkungen von Licht¹⁰⁴

- Licht wirkt blutdrucksenkend und erhöht die Herzleistung.
- Licht hilft bei Akne und Psoriasis (Schuppenflechte)¹⁰⁵.

⁹⁹ Brandmayer, E., Köhler, B., *Licht schenkt Leben*, Ritterhude: Fit fürs Leben Verlag, 1997, S. 38f

¹⁰⁰ ebenda, S. 98f

¹⁰¹ Ott, J., *Light, Radiation and You*, 1990, S. 170

¹⁰² Warnke, U., *Der Mensch und die dritte Kraft*, 1997, S. 133

¹⁰³ McDonagh, A. F., *Light Effects on Transport and Excretion of Bilirubin in Newborns*, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 453, 1985, S. 65-72

¹⁰⁴ Brandmayer, E., Köhler, B., *Licht schenkt Leben*, 1997; Liberman, J., *Die heilende Kraft des Lichts. Der Einfluß des Lichts auf Psyche und Körper*. München: Serie Piper, 1996; Warnke, U., *Der Mensch und die dritte Kraft*, 1997

¹⁰⁵ Zur Behandlung bzw. Vorbeugung vgl. u.a. *Therapie mit ultravioletter Strahlung* Kap. 3.1.3.3

- Durch Licht wird die Sauerstoffverwertung verbessert. Kohlenmonoxid wird von den Erythrozyten (rote Blutkörperchen) abgespalten und so die Fähigkeit des Blutes, Sauerstoff zu transportieren, erhöht. Dadurch kommt es auch zu einer besseren Durchblutung der Haut und der Muskeln.
- Sonnenlicht hat auch einen Einfluß auf die Bildung von Leukozyten (weiße Blutkörperchen).
- Durch Lichteinfall werden T-Lymphozyten (weiße Blutkörperchen, Träger der spezifischen Abwehr gegen Viren, Bakterien, usw.) in der Haut aktiviert.
- Licht reguliert den Blutzuckerspiegel¹⁰⁶. Vor allem bei Diabetikern ist der absenkende Effekt stark ausgeprägt. Ein erhöhter Blutzuckerspiegel ist ein Auslöser für Herz- und Arterienerkrankungen. Wenn der Zuckerabbau nicht funktioniert, reichert sich die Glukose im Blut an und wird nicht zu den Zellen transportiert, die den Zucker als Energielieferant benötigen.
- Sonneneinstrahlung vermindert die Karieshäufigkeit. Die Wirkung von UV-Licht auf den Zustand der Zähne wurden bisher vor allem an Tieren untersucht. In diesen Untersuchungen konnte die Abnahme der Häufigkeit von Karies auch schon in kurzen Perioden beobachtet werden. Studien am Menschen sind bisher jedoch sehr rar¹⁰⁷.
- Licht regt die Schilddrüse an und beschleunigt so den Stoffwechsel und die Kalorienverbrennung.

3.1.3.3 Lichttherapie

Kurze Geschichte der Lichttherapie¹⁰⁸

- Die heilende Wirkung der Sonne war schon bei den Ägyptern, Griechen und Römern bekannt und wurde in Therapien eingesetzt. Im Mittelalter geriet diese Form der Behandlung der Menschen in Vergessenheit. Erst Ende des 18. Jahrhunderts griffen die Menschen wieder auf dieses alte Wissen zurück und bis in die 50er Jahre dieses Jahrhunderts hatte die Sonne einen festen Platz in der medizinischen Versorgung. Durch die Verbesserung der Medikamente (Antibiotika) geriet die Lichttherapie wieder in den Hintergrund bis in den 70er Jahren unseres Jahrhunderts der „Durst nach Sonne“ erneut

¹⁰⁶ vgl. auch Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, 1979, S. 60ff

¹⁰⁷ Hargreaves, J. A., Thompson, G. W., Ultraviolet Light and Dental Caries in Children, *Caries Research*, Vol. 23, 1989, S. 389

¹⁰⁸ Falkenbach, A., Sonne und Mensch, 1995, S. 6ff

erwachte. Ein Grund für das Wiederaufleben der Lichttherapie war die sich entwickelnde Antibiotika-Resistenz der Bakterien.

Einteilung der Phototherapie in vier Bereiche¹⁰⁹

- *Therapie mit infraroter Strahlung*

Diese Form wird mit Licht von Wellenlängen über 780 nm durchgeführt. Es kommt in den oberen Hautschichten zur fast vollständigen Absorption, die Infrarot-Strahlung wird in thermische Energie umgewandelt (entspricht Thermotherapie).

Die Wirkungen der Therapie mit Infrarot-Licht bestehen in der Durchblutungssteigerung der Haut, einer verminderten Ansprechraten der oberflächlichen Schmerzrezeptoren und der Schmerzlinderung.

- *Therapie mit sichtbarer Strahlung*

Von klinischer Relevanz ist hier v.a. das Blaulicht mit einer Wellenlänge von ca. 450 nm.

Das Anwendungsgebiet ist die Neugeborenen-Gelbsucht. Auch bei der Behandlung von Akne zeigte die Behandlung mit sichtbarem Licht Wirkungen¹¹⁰.

- *Therapie mit ultravioletter Strahlung*

Diese Art der Therapie hat aufgrund der hohen Energie der Lichtquanten im ultravioletten Wellenlängenbereich eine Vielzahl von Wirkungen. Hier weisen relativ schmale Frequenzbänder ein Maximum der Wirksamkeit für die einzelnen Effekte auf. Das UV-Licht wird v.a. in den oberen Hautschichten absorbiert, maximal 10% erreichen die in der unteren Schicht der Epidermis gelegenen Zellen.

primäre Wirkungen des UV (UV-A, UV-B) - Lichts:

- * Die Bräunung der Haut, die einem Schutz gegen weitere UV-Einwirkung gleichkommt¹¹¹.
- * Nach einer seriellen UV-B-Exposition kommt es zu einer Umstellung der vegetativen Kreislaufregulation, der Ruhe- und der Belastungspuls sinken.
- * Synthese von Vitamin D aus seinen Vorstufen in der Haut¹¹².

sekundäre Wirkungen der UV-Exposition:

- * Stimulierung der Hypophyse mit der Beeinflussung der gonadotropen Hormone (Geschlechtsdrüsenhormone).

¹⁰⁹ Becker-Casademont, R., Phototherapie, Physikalische Medizin, Vol. 4 (Elektro- und Lichttherapie), 1988, S. 147-154

¹¹⁰ Sigurdsson, V., Knulst, A.C. et al., Phototherapy of Acne Vulgaris with Visible Light, Dermatology, Vol. 194, 1997, S. 256-260

¹¹¹ vgl. Wege, über die das Licht wirkt: Über die Haut Kap. 3.1.3.1

¹¹² vgl. Vitamin D Kap. 3.1.3.2

- * Stimulierung der weißen Blutkörperchen mit Erhöhung der Lymphozytenzahl.
- * Steigerung der Phagozytosefähigkeit (Fähigkeit körperfremde Substanzen aufzufressen) der Granulozyten; Folge: Stimulierung des Immunsystems.

Anwendungsgebiete:

Im dermatologischen Bereich wird die UV-Therapie unter anderem für die Behandlung von Psoriasis (Schuppenflechte), Akne, Hauttuberkulose, Ekzemen und Neurodermitis angewendet. Weiters erfolgt der Einsatz bei Rachitis, Rekonvaleszenz, Infektanfälligkeit und vegetativen Regulationsstörungen.

- *Therapie mit dem gesamten Sonnenspektrum (Heliotherapie)*

Bei dieser Form der Therapie wird das gesamte auf der Erdoberfläche auftreffende Spektrum verwendet. Das Licht wird über die Augen durch den energetischen Anteil der Sehbahn aufgenommen und wirkt so auf die Steuerungszentralen des Gehirns¹¹³. Für die Erzielung eines therapeutischen Effekts reicht eine Dosis unter der Erythemschwelle aus; auch eine Bräunung der Haut ist nicht notwendig. Die Wirkung der Heliotherapie ist ganzheitlich und besitzt ein hohes psychologisches Moment, da Wärme und Licht eine bedeutende Rolle im Leben der Menschen spielen.

Anwendungsbereiche:

Heliotherapie wird bei Hautkrankheiten wie Akne und Psoriasis eingesetzt. Weiters bei extrapulmonaler Tuberkulose oder vegetativen Regulationsstörungen.

Einige spezielle Anwendungsgebiete

- *Rachitis*

Vor allem die Anwendung der Phototherapie bei Rachitis ist schon seit langer Zeit bekannt. Diese Krankheit entsteht durch mangelnde Mineralisation der Knochen¹¹⁴.

- *Depressionen*

Eine Form der Depression, auf die Lichttherapie angewendet wird, ist die saisonal abhängige Depression (SAD). Diese tritt auf, wenn die Epiphyse in den dunklen Herbst- und Wintermonaten zuwenig Sonnenlicht bekommt. Als Folge wird das Hormon Melatonin auch tagsüber erzeugt. Körper und Geist bleiben inaktiv.

Bei der Therapie wird das verwendete helle Licht über die retino-hypothalamische Leitung weitergeleitet und unterdrückt so die Ausschüttung des Epiphysenhormons Melatonin, das den Wachheitszustand des Menschen erheblich mitbestimmt¹¹⁵.

¹¹³ vgl. Wege, über die das Licht wirkt: Über das Auge Kap. 3.1.3.1

¹¹⁴ vgl. Knochenstoffwechsel Kap. 3.1.3.2

¹¹⁵ Falkenbach, A., Sonne und Mensch, 1995, S. 270ff

Auch bei anderen Formen der Depression wird Lichttherapie angewendet. Durch die Lichteinwirkung soll das endokrine System seine Ordnung und den richtigen chronobiologischen Rhythmus wiederfinden¹¹⁶.

- *Störungen im chronobiologischen Rhythmus des Menschen*

Lichttherapie wird auch eingesetzt, um den chronobiologischen Rhythmus im Menschen wieder herzustellen. Bei Menschen, die ihre Leistungen genau entgegengesetzt zur inneren Uhr bringen müssen (*Schichtarbeit*, ...) kommt es zu einer Störung des inneren Rhythmus. Die normalerweise stattfindende Entgiftung in der Nacht ist nicht möglich, ein andauernder Erschöpfungszustand bis hin zu Stoffwechsel- und Organerkrankungen sind die Folge.

Es kommt auch zu einer Phasen-Rhythmus-Störung, wenn mehrere Zeitphasen übersprungen werden, wie das bei Langstreckenflügen der Fall ist (*jet lag*).

Bei Störungen der inneren Uhr kann die Behandlung mit Licht Abhilfe schaffen, der Körper kann sich besser auf neue Verhältnisse einstellen¹¹⁷.

3.1.4 Künstliches Licht

3.1.4.1 Definition von Kunstlicht

Lampen bzw. *Leuchtmittel* werden in dieser Arbeit als die Lichtquellen definiert, die das Licht emittieren. *Leuchten* bzw. *Lichtanlagen* hingegen dienen der Verteilung, Filterung und Umformung des von den Lampen ausgesendeten Lichts. Damit wird also die Gesamtheit von Lampe, Lampenschirm, Reflektor, Fassung, Vorschaltgerät, Gehäuse, usw. bezeichnet.

Kunstlicht wird von künstlichen Lichtquellen (=Lampen) erzeugt. Zur Beschreibung dieser Art von Licht soll auf die Unterschiede zum Sonnenlicht hingewiesen werden.

Eine wichtige Größe zur Klassifizierung von Licht ist sein Spektrum. Licht aus fast allen künstlichen Lichtquellen weist ein unvollständigeres Spektrum als das Sonnenlicht auf. Bei den verschiedenen Lampenarten gibt es viele unterschiedliche spektrale Zusammensetzungen des von ihnen ausgestrahlten Lichts, wobei bestimmte Spektralbereiche reduziert oder gar nicht vertreten sind.

¹¹⁶ Brandmayer, E., Köhler, B., *Licht schenkt Leben*, 1997, S. 103

¹¹⁷ ebenda, S. 99ff

Künstliches Licht unterscheidet sich aber auch in anderen Größen vom Sonnenlicht. Es variiert seine spektrale Zusammensetzung über den Tag und die Jahreszeiten hinweg nicht und weist geringere Beleuchtungsstärken auf.

Beispiele künstlicher Lichtquellen¹¹⁸

Glühlampe

Die traditionelle Glühlampe weist ein kontinuierliches Spektrum auf, d.h. es fehlen keine Wellenlängenbereiche. Jedoch besteht eine Dominanz der längeren Wellenbereiche. Aus diesem Grund hat das Licht der Glühlampe eine rötliche Farbe und wirkt warm. Dieser übermäßige Rotanteil, der auch dem abendlichen Sonnenlicht eigen ist, verschlechtert jedoch die Farbwiedergabeeigenschaften¹¹⁹.

Leuchtstofflampen

Funktionsweise

Die Leuchtstofflampen gehören zur Gruppe der Gasentladungslampen. Im Glaskolben werden aus einer erhitzten Kathode Elektronen ausgesendet, die beim Zusammenprall mit den Molekülen des eingefüllten Metalldampfes (Quecksilberdampf) diesen zum Leuchten bringen. Durch die Gasentladung werden 2% der zugeführten Energie als sichtbares Licht und 60% als UV-Licht frei. Dieses muß erst in sichtbares Licht umgewandelt werden. Die Innenseite der Röhren ist daher mit Leuchtstoffen beschichtet, die durch Fluoreszenz die UV-Strahlung in sichtbares Licht umwandeln.

Für das Starten und den Betrieb von Leuchtstofflampen sind Vorschaltgeräte notwendig.

Leuchtstofflampen werden mit einer Wechselspannung von 50 Hertz (Hz) betrieben. Aufgrund dieser Wechselspannung besteht die Lichtemission der Leuchtstofflampen aus Lichtblitzen, die etwa 100 mal pro Sekunde auftreten. Diese Blitze können zwar optisch nicht wirklich wahrgenommen werden, es kann jedoch zu streßartigen Reaktionen im Organismus kommen¹²⁰. Eine weitere Auswirkung ist der stroboskopische Effekt, der sich an bewegten Gegenständen als Bewegungslimmern auswirkt. So können etwa rotierende Teile als „stehend“ wahrgenommen werden, was die Unfallgefahr bei der Arbeit mit Maschinen erhöht.

¹¹⁸ Böcker, W., Künstliche Beleuchtung, 1981; Hartl, S., Licht und Mensch, 1990; Technisches Datenblatt, Der Stoff der leuchtet

¹¹⁹ Weratschnig, A., Tageslicht und Sonnenenergie, 1993, S. 10ff

¹²⁰ vgl. Negative Auswirkungen von Kunstlicht auf den menschlichen Organismus Kap. 3.1.4.3

Eine Vermeidung dieser Effekte kann durch eine Duo- oder Dreiphasenschaltung (die Phasen von zwei oder mehreren Lampen werden verschoben) bzw. ein elektronisches Vorschaltgerät¹²¹ bewirkt werden.

Charakteristika des Lichts von Leuchtstofflampen

Im Gegensatz zum Tageslicht werden von den Leuchtstofflampen nur bei bestimmten Wellenlängen starke Helligkeiten emittiert („Linienspektren“). Diese Lampen besitzen diskontinuierliche Spektren¹²², bei denen einzelne Bereiche besonders deutlich ausgeprägt, andere wiederum nur reduziert oder gar nicht vorhanden sind. Sie weisen sogenannte „Schornsteine“ auf. Das bloße Auge kann jedoch, durch die Aufarbeitungsleistung des Gehirns, diese Spektren nicht von Licht mit einem vollständigen Spektrum unterscheiden¹²³. Es hat keine objektive Farbwahrnehmungsfähigkeit¹²⁴. Die meisten Leuchstoffröhren produzieren ein kalt-grünes Licht. Beim Sehen wird jedoch automatisch ein purpur-farbener Filter dazugeschaltet, der das Licht weiß erscheinen lässt¹²⁵.

Die sogenannten Linienspektren lassen die Lichtquellen heller wirken, belasten aber den Sehvorgang. Die Auswirkungen, die aufgrund der fehlenden Wellenlängen entstehen können, reichen von schlechteren Farbwiedergabeeigenschaften, über schnellere Ermüdung der Augen bis zu weitreichenden biologischen Wirkungen wie etwa Streßreaktionen im Hormonhaushalt¹²⁶.

3.1.4.2 Vollspektrumlicht und elektronische Vorschaltgeräte¹²⁷

Vollspektrumlicht

Es ist möglich, Leuchtmittel herzustellen, die ein dem Tageslicht bezüglich seiner spektralen Zusammensetzung weitgehend ähnliches Licht emittieren. Die Übereinstimmung mit dem Spektrum der Sonne beträgt 96%. Das Licht, das diese Lampen aussenden, wird als *Vollspektrumlicht* bezeichnet. Im Vergleich zu herkömmlichen Leuchstoffröhren besitzt das Licht dieser Lampen eine gleichmäßige Verteilung der verschiedenen Wellenlängen und zusätzlich Wellenlängen im UV- (UV-A und UV-B) und

¹²¹ vgl. Kap. 3.1.4.2

¹²² vgl. Abbildung *Spektrum des Lichts einer herkömmlichen Leuchtstoffröhre* im Anhang

¹²³ Technisches Datenblatt, Der Stoff der leuchtet

¹²⁴ Höfling, G., Farbänderungen des Tageslichts im Raum, Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Vol. 171, 1977, S. 966-973

¹²⁵ Greiner-Schuster, E., Die Schatten der Kunstlichtwelt, ÖKO-Test Magazin, 3/1990, S. 40

¹²⁶ Hollwich, F., Biologische Wirkungen des Lichts über das Auge auf Stoffwechsel und Endokrinium, DOZ, Nr. 8, August 1981, S. 6-14; vgl. auch Kap. 3.1.4.3

¹²⁷ Technisches Datenblatt, Der Stoff der leuchtet

Infrarot-Bereich¹²⁸. Aus diesem Grund weist das Vollspektrumlicht bessere Farbwiedergabeeigenschaften als herkömmliche Leuchtstoffröhren auf.

Elektronische Vorschaltgeräte (EVG)

Diese dienen dazu, die niederfrequente Netzspannung von 50 Hz, mit der Leuchtstoffröhren betrieben werden, in eine hochfrequente Wechselspannung von 25 - 35 kHz umzuwandeln. Durch diese Erhöhung der Spannung entsteht ein für das Auge ideal gleichmäßiges Licht. Somit können sowohl das nicht sichtbare Flimmern als auch der stroboskopische Effekt - Erscheinungen, die bei konventionellen Vorschaltgeräten üblicherweise auftreten¹²⁹ - vermieden werden. Weitere Vorteile sind eine um bis zu 50 % höhere Lampenlebensdauer und eine bis zu 25 % geringere Leistungsaufnahme. Weiters ersetzt das EVG Bauteile des konventionellen Geräts (Drossel und Starter).

3.1.4.3 Negative Auswirkungen von Kunstlicht auf den menschlichen Organismus

Die stimulierende Einwirkung des Lichts auf die Hypophyse hat nicht nur eine fördernde Wirkung. Durch einen zu hohen Reiz (wie etwa bei zu hoher künstlicher Beleuchtungsstärke) kann es auch zu einer Stressreaktion kommen. Bei Stress findet in der Nebennierenrinde eine erhöhte Ausschüttung von Hormonen statt. Dauert dieser Zustand an, so kann es zu pathologischen Veränderungen des menschlichen Organismus kommen¹³⁰.

In einem Belastungstest am Arbeitsplatz¹³¹ wurde ein Vergleich zwischen dem Licht herkömmlicher Leuchtstoffröhren, jenem einer Leuchtstoffröhre mit tageslichtähnlichem Spektrum sowie dem Sonnenlicht durchgeführt. Im Fall der herkömmlichen Leuchtstoffröhre wird nach einer 14-tägigen Bestrahlung von einem beträchtlichen Anstieg der Stresshormone (ACTH und Cortisol) berichtet. Bei der Bestrahlung mit dem sonnenlichtähnlichen Spektrum zeigte sich ein wesentlich geringerer Anstieg der Hormonwerte.

Schlußfolgernd lassen sich die abweichenden hormonalen Reaktionen dieses Versuchs auf die unterschiedlichen Spektren der beiden Lampen zurückführen.

¹²⁸ vgl. Abbildung *Spektrum des Vollspektrumlichts* im Anhang

¹²⁹ vgl. *Leuchtstofflampen* Kap. 3.1.4.1

¹³⁰ Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, 1979, S. 93

¹³¹ Hollwich, F., Biologische Wirkungen des Lichtes über das Auge auf Stoffwechsel und Endokrinium, 1981, S. 11f

3.1.5 Untersuchungen des Lichteinflusses auf Schüler in der Literatur

In einer Untersuchung von Ronge¹³² mit Schulkindern wurde beobachtet, daß es aufgrund einer dauernden leichten Bestrahlung der Kinder mit UV-Licht zu einer Erhöhung der körperlichen Leistungsfähigkeit kam. Am ausgeprägtesten war dieser Effekt in den Winter- und Frühlingsmonaten. Im Gegensatz dazu zeigen Kinder, die keiner künstlichen UV-Bestrahlung ausgesetzt waren, eine Erhöhung der körperlichen Leistungsfähigkeit während der Sommermonate, wenn sie mit UV-Licht aus natürlichen Quellen versorgt wurden.

Harmon¹³³ berichtet von einer im Bundesstaat Texas großangelegten Studie in Schulen. Diese Untersuchung beschäftigt sich mit den organischen Bedürfnissen der Kinder in Lernsituationen.

Im Rahmen der Studie wurden Änderungen in den Bereichen Beleuchtung, Sitzposition und farblicher Gestaltung der Schulen vorgenommen. Nach sechs Monaten, die die Schüler in der neu gestalteten Umgebung verbracht hatten, wurde untersucht, ob Änderungen bei bestimmten Parametern stattgefunden hatten.

Die Ergebnisse zeigten bedeutende Rückgänge bei Sehstörungen (65%), Ernährungsproblemen (47,8%), chronischen Infektionskrankheiten (43,3%), Haltungsstörungen (25,6%) und chronischer Erschöpfung (55,6%). Vergleichbare Resultate wurden auch bei der schulischen Leistung beobachtet.

Als Gesamtergebnis der Studie wurde ein Zusammenhang zwischen schulischer Umgebung, Gesundheit und Lernfähigkeit der Schüler nachgewiesen.

Zamkova¹³⁴ berichtet von einer Untersuchung im Schuljahr 1963/64, die an einer Grundschule durchgeführt wurde. In zwei Klassen dieser Schule wurden spezielle Leuchtstoffröhren für lichtempfindliche Haut (EUV-Lampen) installiert, zwei Parallelklassen dienten als Kontrollgruppen. Die Bestrahlung ging über ein Jahr.

Die Ergebnisse zeigten folgendes: Die Beleuchtung hatte eine begünstigende Wirkung auf die Kinder, was an einer Reihe von positiven Veränderungen abzulesen war. Schüler, die unter dem EUV-Licht gelernt hatten, reagierten schneller auf Licht und Lärm, zeigten weniger Ermüdungserscheinungen des visuellen Rezeptors und eine bessere Leistungsfähigkeit als jene Kinder, die unter herkömmlichen Lichtquellen gelernt hatten.

¹³² Ronge, H. E., Ultraviolet Irradiation with Artificial Illumination, *Acta Physiologica Scandinavica*, Vol. 15 (suppl 49), S. 1ff; zitiert in Kime, Z. R., Sonnenlicht und Gesundheit, Ritterhude: Waldhausen-Verlag, 1995, S. 43

¹³³ Harmon, D. B., The Coordinated Classroom, Grand Rapids/Michigan, 1951; zitiert in Liberman, J., Die heilende Kraft des Lichts, 1996, S. 81f

¹³⁴ Zamkova, M. A., Krivitskaya, E. I., Auswirkungen auf die Lernfähigkeit von Schulkindern bei Bestrahlung mit ultravioletten Leuchtstofflampen (Effect of Irradiation by Ultraviolet Erythema Lamps on the Working Ability of School Children), *Gigiena in Sanitaria*, Band 31, 1966, S. 41-44

In einer Studie von Ott¹³⁵ wurden im Schuljahr 1972/73 in zwei Klassen einer Grundschule Vollspektrum-Leuchtstoffröhren installiert, in zwei anderen kühl-weiße Leuchtstoffröhren. Keiner der vier Klassenräume besaß Fenster. Mit Hilfe von Zeitrafferaufnahmen wurde die Reaktion der Schüler nach zwei bzw. drei Monaten der Installation des Lichts auf Film festgehalten. Unter dem kühl-weißen Licht kam es bei einigen Schülern zu Hyperaktivität, Erschöpfung, Reizbarkeit und Aufmerksamkeitsstörungen. Die Installation des Vollspektrumlichts hatte Verbesserungen im Betragen, in der Beteiligung am Unterricht und in der schulischen Leistung zur Folge. Kinder mit Lernstörungen und extremer Hyperaktivität wurden merklich ruhiger und überwanden Lese- und Lernprobleme. Auch war die Karieshäufigkeit in den Klassen mit Vollspektrumlicht um ein Drittel geringer als in den beiden anderen Klassen.

Wohlfarth¹³⁶ berichtet von einer Untersuchung an einer Schule für behinderte Kinder in Kanada im Jahr 1981. Bewertet wurde die Wirkung von bestimmten Farben und Vollspektrumbeleuchtung auf das Verhalten und die Physiologie von blinden Kindern mit schweren Verhaltensstörungen und sehenden Kindern mit anderen schweren Behinderungen. Die Ergebnisse waren hoch signifikant: In den neu gestrichenen Räumen und unter dem Vollspektrumlicht sank der systolische Blutdruck deutlich und es kam zu einem Rückgang der Aggressivität zu bemerken war. Als man die Vollspektrumlampen wieder durch kühl-weiße Leuchtstoffröhren ersetzte, stieg der Blutdruck neuerlich und die Kinder wurden wieder unruhiger. Die Wirkungen zeigten sich sowohl bei sehenden als auch bei blinden Kindern.

Um die Unterschiede der Wirkungen herauszuarbeiten, die Farbe bzw. Licht auf die Kinder haben, startete Wohlfarth¹³⁷ für die Dauer des Schuljahres 1982/83 einen erneuten Versuch an vier Grundschulen in Alberta, Kanada. Drei der Schulen waren die Versuchsgruppen, eine diente als Kontrollgruppe. In den Versuchsgruppen wurden in einer Schule die Farbe der Wände geändert, in einer anderen Vollspektrumlampen angebracht und in der dritten eine Kombination aus Farben und Vollspektrumlampen eingesetzt. Die untersuchten Parameter waren folgende: Aufnahmefähigkeit, schulische Leistung, Einstellung zu Schulgegenständen, disziplinäre Maßnahmen aufgrund schlechten Betragens, Fehltage wegen Krankheit, refraktive Augenprobleme, Blutdruck, Stimmung, Lärmpegel und Auftreten von Karies.

¹³⁵ Ott, J., Color and Light. Their Effects on Plants, Animals and People, Teil 1, International Journal of Biosocial Research, Vol. 7, 1985; zitiert in Liberman, J., Die heilende Kraft des Lichts, 1996, S. 84f; Ott, J., The Eyes' Dual Function- Part II, August 1974, S. 313f

¹³⁶ Wohlfarth, H. und Wohlfarth, S. C., The Effect of Color-Psychodynamic Environmental Modification upon Psychophysiological and Behavioral Reactions of Severely Handicapped Children, International Journal of Biosocial Research, 3, Nr. 1, 1982, S. 10-38; zitiert in Liberman, J., Die heilende Kraft des Lichts, 1996, S. 130f

¹³⁷ Wohlfarth, H., Color and Light Effects on Students' Achievement, Behavior and Physiology, 1986

Die prägnantesten Ergebnisse der Studie waren die Reduktion des Auftretens von Karies¹³⁸ und eine Verringerung der Fehltage aufgrund von Krankheit bei Vollspektrumlicht mit. Weiters wurden Zusammenhänge zwischen Farbe bzw. Licht und der Stimmung der Schüler bzw. dem Lärmpegel beobachtet.

In einer Volksschule in Brattleboro im US-Bundesstaat Vermont untersuchte London¹³⁹ in einem nicht-blinden Versuchsdesign die Auswirkungen von Vollspektrumlicht auf die Zahl der Fehltage der Schüler aufgrund von Krankheit. Das Vollspektrumlicht wurde in drei Klassenräumen, in denen sich Schüler im Alter zwischen fünf und neun Jahren aufhielten, installiert. Drei bezüglich der Schulstufe vergleichbare Klassen wurden als Kontrollklassen herangezogen. Der Versuch ging über sechs Monate (von Jänner bis Juni 1987) und brachte folgendes Ergebnis: Die Anzahl der Fehltage in den Versuchsklassen war unter dem Einfluß des Vollspektrumlichts signifikant niedriger als jene der Kontrollklassen und der gesamten restlichen Schule.

3.2 Theoretische Grundlagen zu einigen untersuchten Parametern

Augen

Die Augen sind das wichtigste Organ was die Informationsaufnahme des Menschen von der Umwelt betrifft. Eine intakte Sehfunktion ist von großer Bedeutung. Nicht gut sehen zu können, bedeutet in der auf visuelle Reize ausgerichteten Welt eine erhebliche Behinderung.

Licht spielt eine große Rolle beim Vorgang des Sehens. Die Folgen von ungünstiger Beleuchtung, wie etwa die Reduktion des Leistungsvermögens, wurden bereits in den vorhergehenden Abschnitten dieses Kapitels besprochen. Größen wie die Akkommodation und die Sehstärke¹⁴⁰ können uns Informationen über den Zustand unseres optischen Systems liefern.

Blutdruck

In der heutigen Gesellschaft wird der *Blutdruck* häufig zusammen mit dem Begriff der Hypertonie, also dem Bluthochdruck, erwähnt. Bluthochdruck ist ein bedeutender Risikofaktor für Herz- und Arterienerkrankungen. Die Reduktion von Bluthochdruck ist

¹³⁸ vgl. Hargreaves, J. A., Thompson, G. W., Ultraviolet Light and Dental Caries in Children, 1989

¹³⁹ London, W. P., Full-Spectrum Classroom Light and Sickness in Pupils, The Lancet, November 1987, S. 1205f

¹⁴⁰ vgl. *Sehschärfe* Kap. 3.1.2

für die Vorbeugung von Schlaganfällen, Herzversagen, Herzinfarkt und Nierenleiden von großer Bedeutung¹⁴¹.

Auch die Hypotonie, der zu niedrige Blutdruck, ist in der Bevölkerung weit verbreitet¹⁴². Sie gilt nicht als prognostisch verhängnisvolle Erkrankung, führt aber dennoch zu beträchtlichen Beschwerden, Leistungseinschränkungen und dadurch verursachten Krankenständen.

Lärm

Allgemeine Einführung¹⁴³

Der Körper wird durch akustische Reize in einen Zustand erhöhter Aktivität versetzt. So kann Lärm über die Weiterleitung von Schallreizen an den Hypothalamus und die Hypophyse auf das gesamte vegetative und endokrine System wirken. Bei wiederholter Reizung oder Überschreitung der Reizschwelle kann es zu Veränderungen an peripheren Organen und zu einem erniedrigten Widerstand gegenüber gesundheitsgefährdenden Stimuli kommen.

In *Tabelle 1* sind die gesundheitlichen Wirkungen verschiedener Lärmeinwirkungsniveaus dargestellt. Ob eine Überschreitung dieser Werte gesundheitliche Relevanz hat, hängt auch vom Zeitpunkt, der Häufigkeit des Auftretens sowie von der Konstitution des Betroffenen ab.

Generell kann gesagt werden, daß unter 85 Dezibel (dB) keine Hörstörungen zu erwarten sind.

Immissionswerte		Gesundheitliche Aspekte
$L_{A,eq}$	$L_{A,max}$	
55 dB	80 dB	Grenzwerte des vorbeugenden Gesundheitsschutzes (für Gebiete mit ständiger Wohnnutzung)
60-65 dB	90-95 dB	Belästigungsreaktionen steigen stark an
65-70 dB	95-100 dB	Vegetative Übersteuerung möglich
70-75 dB	100-105 dB	Überbeanspruchung möglich

Tabelle 1: Wirkungsbezogene Immissionswerte; Quelle: Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen, ÖAL-Richtlinien, Nr. 6/18, Nov. 1991, S. 18

¹⁴¹ Laaser, U., Roccella, E. J. et al. (Hrsg.), Costs and Benefits in Health Care Prevention. An International Approach to Priorities in Medicine, Proceedings of a Conference on the Analysis of Costs and Benefits in Health Care, Bielefeld, June 17th and 18th 1988, Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer-Verlag, 1990

¹⁴² Velimirovic, B., Sozialmedizin, Skriptum, Universität Graz, 1987, S.270

¹⁴³ Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung, Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen. Beurteilungshilfen für den Arzt, ÖAL-Richtlinien, Nr. 6/18, Nov. 1991

Auch in Schulen ist die Lärmbelastung nicht zu unterschätzen. Laut einer Studie des Arbeitsmedizinischen Dienstes in Linz¹⁴⁴ weisen etwa 20 Prozent der dort untersuchten Lehrer deutliche Hörschäden auf; ebenfalls rund 20 Prozent klagen über oft auftretende Stimmschwierigkeiten.

Der durchschnittliche Lärmpegel in einer Schulkasse, der von einer in Deutschland durchgeführten Studie¹⁴⁵ ermittelt worden ist, liegt bei 66 dB. Lehrer müssen diesen Lärmpegel ständig übertönen, um sich Gehör zu verschaffen, was sich natürlich auf den Zustand der Stimme auswirkt. Doch auch für die Schüler bedeutet dieses Lärmniveau eine Belastung in bezug auf ihre Konzentrationsfähigkeit.

Schalltechnische Grundbegriffe¹⁴⁶

Der *A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel $L_{A,eq}$* :

Dieser Wert wird für die Beschreibung von Schallereignissen mit zeitlich schwankendem Pegel verwendet. Es ist jener Schallpegel, welcher bei andauernder gleichmäßiger Einwirkung über eine vorgegebene Bezugszeit denselben Energieinhalt hat wie das schwankende Geräusch.

Bei der *A-Bewertung* erfolgt eine Anpassung des linearen Schallpegels an das menschliche Ohr, da dieses nicht fähig ist, alle Frequenzen gleich gut wahrzunehmen. So gelten Schallpegel-Werte, die unter Verwendung der Methode der A-Bewertung ermittelt werden (dBA), als angemessenes Maß für die menschliche Wahrnehmung von Schall.

Der *maximale Schallpegel $L_{A,max}$* :

Der höchste während der Meßzeit aufgetretene A-bewertete Schallpegel.

Der *Basispegel $L_{A,95}$* :

Der in 95% der Meßzeit überschrittene A-bewertete Schallpegel; er charakterisiert die niedrigsten aufgetretenen Schallpegel.

Der *mittlere Spitzenpegel $L_{A,01}$* :

Der in 1% der Meßzeit überschrittene A-bewertete Schallpegel; er charakterisiert die aus einem Geräusch herausragenden Schallpegelspitzen.

¹⁴⁴ N. N., Lauter Lärm, Umwelterziehung, Zeitschrift der ARGE Umwelterziehung im Umweltdachverband ÖGNU, Nr. 2/98, S. 9

¹⁴⁵ ebenda

¹⁴⁶ Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (ÖAL), Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen, 1991

4 Die experimentelle Untersuchung von Lichteinflüssen auf den Menschen

4.1 Aufgabenstellung

Das Ziel der vorliegenden Studie ist es, die aus der Literatur bekannten positiven Auswirkungen von Licht auf den Menschen anhand eines eigenen Versuchsaufbaus an einer Schule zu untersuchen und somit eine Grundlage für weiterführende Untersuchungen in diesem Bereich zu schaffen.

Basierend auf den im vorhergehenden Kapitel¹⁴⁷ angeführten Studien stellen die Auswirkungen von Vollspektrumlicht auf SchülerInnen im Vergleich zu herkömmlichem Licht den Gegenstand dieser Untersuchung dar. Die Wirkungen sollen anhand der Änderungen bestimmter Parameter der physischen Gesundheit der SchülerInnen beobachtet werden.

Die Auswahl der untersuchten Parameter wurde in Anlehnung an die bereits erwähnten auf diesem Gebiet durchgeführten Studien getroffen. Es wurden nur solche Parameter untersucht, bei denen keine Blutabnahme vorzunehmen war. Dies wäre im Rahmen einer Untersuchung mit Jugendlichen an einer Schule nicht durchführbar gewesen.

Die ausgewählten Parameter decken die Bereiche Sehvermögen, Blutdruck, Puls, Atemfrequenz, Fehlstunden aufgrund von Krankheit, Lärmpegel und Karieshäufigkeit ab.

4.2 Methodik

Die Durchführung dieser Untersuchung erfolgte in zwei Klassen einer Schule, die mit unterschiedlichen Lampen ausgestattet wurden. In einer der beiden Klassen wurden Vollspektrumlampen installiert, in der anderen herkömmliche Leuchtstoffröhren¹⁴⁸.

Die Wahl fiel aus verschiedenen Gründen auf diese Schule bzw. die beiden untersuchten Klassen:

¹⁴⁷ vgl. Kap. 3.1.5

¹⁴⁸ Zur näheren Erklärung dieser Begriffe vgl. Kap. 3.1.4.1 bzw. 3.1.4.2

- * Das Einzugsgebiet der Schule war über das ganze Stadtgebiet verteilt.
- * Die Direktorin der Schule bekundete großes Interesse am Thema und stellte ihre kooperative Mitarbeit zur Verfügung.
- * Die Schülerzahl der beiden Klassen war gleich groß.
- * Die Klassenräume lagen nebeneinander, waren von der Größe her vergleichbar und besaßen gleich viele Fenster, die alle in dieselbe Himmelsrichtung ausgerichtet waren.
- * In den beiden Klassen wurde nach dem System des „Team-Teachings“ unterrichtet. Nach diesem Prinzip unterrichten in einer Klasse jeweils zwei Lehrer gleichzeitig einen Unterrichtsgegenstand, wobei ein Lehrer der „Hauptlehrer“ ist, der andere assistiert. In der Partnerklasse werden die Rollen vertauscht. Durch dieses System haben beide Partnerklassen in allen Unterrichtsgegenständen die gleichen Lehrer.

Die Studie wurde mit Hilfe eines quasiexperimentellen, doppelblinden Versuchsdesigns durchgeführt. Die Versuchspersonen wußten nicht, daß die Wirkung von Licht auf den Menschen untersucht wurde. Es wurde ihnen mitgeteilt, daß die vorgenommenen Untersuchungen der Erhebung des allgemeinen Gesundheitszustandes dienten. Die Durchführenden wiederum wußten über den Inhalt des Versuchs Bescheid, jedoch nicht über die Zuteilung der beiden Lichtarten zu den jeweiligen Klassenräumen. So wurde einer Beeinflussung der teilnehmenden Personen durch etwaige Erwartungshaltungen vorgebeugt.

Weiters wurde ein gekreuztes Design verwendet. Nach der ersten Testphase wurden die Lampen der beiden Klassen ausgetauscht. So war es möglich, die Wirkungen beider Lichtarten sowohl innerhalb der Klassen als auch zwischen den Klassen zu vergleichen.

Der Zeitraum der Untersuchung wurde in die Wintermonate gelegt, um den Einfluß der natürlichen Sonnenstrahlung auf die Jugendlichen möglichst gering zu halten und um sicherzugehen, daß etwaige Effekte auf die SchülerInnen dem künstlichen Licht zugeschrieben werden konnten.

Der Versuch setzte sich aus drei Phasen zusammen (vgl. *Abbildung 2*):

- Die viertägige Baseline, in der die Grunddaten aller Parameter erhoben wurden.
- Die beiden Testphasen, die jeweils 67 Tage dauerten. Vor Beginn der Phase 1 wurden in einer der beiden Klassen Vollspektrumlampen installiert, in der anderen herkömmliche Leuchstoffröhren. Nach Beendigung von Phase 1 und vor Beginn der Phase 2 wurden die Lampen der beiden Klassen untereinander ausgetauscht.

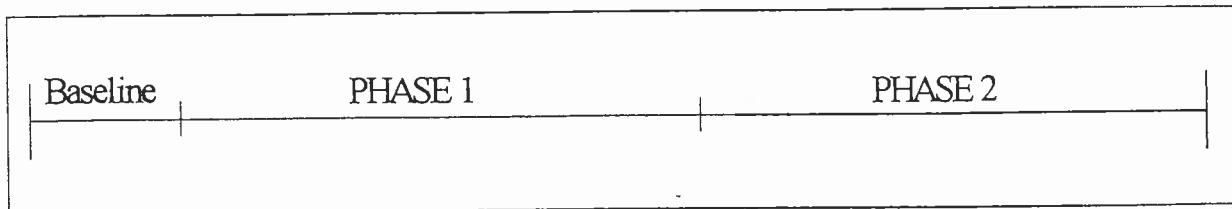


Abbildung 2: Schema des zeitlichen Ablaufs der Untersuchung

Die Fragestellungen, die im Rahmen dieser Studie beantwortet werden sollten, waren folgende:

- Führt der Einfluß von Vollspektrumlicht zu einer Verbesserung des Sehvermögens?
- Hat Vollspektrumlicht eine beruhigende Wirkung auf den Blutdruck, die Atemfrequenz und den Puls?
- Resultiert die Wirkung von Vollspektrumlicht in einer Verminderung der Fehlstunden aufgrund von Krankheit?
- Kommt es durch Vollspektrumlicht zu einem Absinken des Lärmpegels in den Klassen?
- Sinkt die Karieshäufigkeit bei den SchülerInnen aufgrund der Einwirkung von Vollspektrumlicht?

Die Ergebnisse der gleichzeitig erhobenen psychischen Parameter, wie Konzentration, Stimmung/Befindlichkeit, Leistungsmotivation, Leistung und Verhalten wurden in einer anderen Arbeit veröffentlicht¹⁴⁹.

¹⁴⁹ Kern, S., Die Wirkung von Vollspektrum-Licht („True-Lite“) gegenüber herkömmlicher Beleuchtung auf psychische Parameter von Schülern, 1998

5 Versuchsaufbau

5.1 Ort und Probanden der Untersuchung

Die Durchführung der Untersuchung fand an einer Hauptschule in Graz statt.

Die SchülerInnen, die für diese Studie herangezogen wurden, besuchten die Klassen 2a und 2b dieser Schule, was der sechsten Klasse Grundschule entspricht. Die SchülerInnen befanden sich in einer Altersgruppe von 11 bis 13 Jahren.

Die Anzahl der SchülerInnen in beiden Klassen betrug im ersten Schulhalbjahr 28 Personen. Zu Beginn des zweiten Schulhalbjahrs war in beiden Klassen jeweils ein Neuzugang zu verzeichnen. Auch von den beiden neuen Schülern wurden die Daten aller Parameter erhoben, jedoch nicht in die statistische Auswertung miteinbezogen, weil keine Vergleichsdaten aus der Baseline vorhanden waren.

Von der Gesamtzahl der SchülerInnen waren in der einen Klasse 9 weiblich und 19 männlich (2a), in der anderen 11 weiblich und 17 männlich (2b).

Bei den Aufzeichnungen der erhobenen Daten wurde das Geburtsdatum als „Kennziffer“ für den jeweiligen Schüler bzw. die jeweilige Schülerin verwendet, um den Durchführenden eine direkte Zuordnung des Datenmaterials zu den einzelnen SchülerInnen zu erschweren.

5.2 Licht

Ausgangssituation in den beiden Klassen

Die Anordnung der Beleuchtungskörper an den Decken der beiden Klassen war parallel zur Blickrichtung. Über den Wandtafeln beider Klassen war jeweils eine Tafelbeleuchtung angebracht, die eine bessere Lesbarkeit des auf der Tafel Geschriebenen gewährleistete.

Im November 1997, also bereits vor der Baseline¹⁵⁰, erfolgte die Installation von neuen Beleuchtungskörpern. Während also in der Baseline bereits neue Beleuchtungskörper

¹⁵⁰ vgl. Kap. 5.3

(Reflektoren, Gitterraster, ...) installiert waren, verblieben zu diesem Zeitpunkt in beiden Klassen noch die herkömmlichen Leuchtstoffröhren. Einerseits sollten sich die SchülerInnen an die neuen Beleuchtungskörper gewöhnen, andererseits wurde so eine vergleichbare Beleuchtungssituation in beiden Klassen für die Erhebung der Grunddaten in der Baseline geschaffen.

Die neu installierten Beleuchtungskörper bestanden aus einem Reflektor (Hochglanz-Parabol-Spiegel-Reflektor), einem Gitterraster, einem elektronischen Vorschaltgerät¹⁵¹ und den alten Lampen. Plastikabdeckungen wie bei den alten Leuchten gab es keine. Durch diese Maßnahmen konnte die Beleuchtungsstärke in den Klassen im Vergleich zur alten Situation erheblich verbessert werden. Dieses Ergebnis folgte aus einer Messung der Beleuchtungsstärken in verschiedenen Klassen¹⁵².

Vorgehensweise bei der Installation der Lampen

Die Installation von Vollspektrumlampen in einer Klasse und herkömmlichen Leuchtstoffröhren in der anderen erfolgte nach einem Farbschema (vgl. Tabelle 2):

Jedem der beiden Lampentypen wurde durch eine nicht am Versuch beteiligte Person eine Farbe zugeordnet. Die Vollspektrumlampen wurden mit der Farbe „Blau“, die herkömmlichen Leuchtstoffröhren mit der Farbe „Rot“ gekennzeichnet. In weiterer Folge wurde dann von einer der durchführenden Personen für die erste Testphase bestimmt, welche „Farbe“ (also welche Lampenart) in welcher Klasse installiert werden sollte. In der zweiten Testphase wurden die Lampen zwischen den beiden Klassen ausgetauscht.

Phase	Klasse	„Farbe“	Lichtart
Baseline	2a und 2b		herkömmliche Leuchtstoffröhren
Phase 1	2a	Blau	Vollspektrumlicht
	2b	Rot	herkömmliche Leuchtstoffröhren
Phase 2	2a	Rot	herkömmliche Leuchtstoffröhren
	2b	Blau	Vollspektrumlicht

Tabelle 2: Zuordnung der Lichtarten in den jeweiligen Phasen zu den Klassen

Diese beiden Zuordnungen („Lampe-Farbe“ und „Farbe-Klasse“) wurden getrennt voneinander und von unterschiedlichen Personen vorgenommen, die schriftlichen Aufzeichnungen wurden gesondert aufbewahrt. Somit war gesichert, daß niemand wußte, welche Lampenart in welcher Klasse installiert war. Es war nur bekannt, welche „Farbe“

¹⁵¹ vgl. Kap. 3.1.4.2

¹⁵² Genaue Angaben zum Ablauf und den Ergebnissen der Messungen siehe im Anhang.

in den jeweiligen Klassen installiert war. Auch auf den Lampen selbst war die Bezeichnung der Lampenart unkenntlich gemacht worden und mit der jeweiligen Farbe übermalt worden.

Die installierten Vollspektrumlampen BIOLIGHT LT 58 W/960 stammten von der Firma Narva (hergestellt in Deutschland). Der Farbwiedergabe-Index¹⁵³ dieser Lampen betrug 97. Die herkömmlichen Leuchtstoffröhren F 33 Cool White, ebenfalls mit einer Leistungsaufnahme von 58 W, stammten von der Firma TUNGSRAM. Der genaue Farbwiedergabe-Index dieser Lampen ist nicht bekannt.

Während des Untersuchungszeitraumes wurde das Licht in den Klassenräumen nie ausgeschaltet, um den ständigen Einfluß der Beleuchtung sicherzustellen. Die offizielle Begründung für diese Vorgehensweise war, die Lebensdauer der Lampen testen zu wollen.

5.3 Zeitablauf

Die Studie wurde im Zeitraum von Dezember 1997 bis April bzw. Juni 1998 durchgeführt.

Die drei Phasen der Untersuchung waren folgendermaßen aufgebaut (vgl. *Tabelle 3*):

- Die **Baseline** dauerte vom 01. bis 04. Dezember 1997.

In dieser Phase wurden vor Installation der unterschiedlichen Lampen in den beiden Klassen vier Tage lang die Grunddaten aller Parameter erhoben. Dieser Teil der Untersuchung schuf die Grundlage für den Vergleich mit den Daten, die in den späteren Phasen erhoben wurden.

Nach Beendigung der Messungen wurde am darauffolgenden Wochenende eine der beiden Schulklassen mit Vollspektrumlampen ausgestattet, in der anderen neue herkömmliche Leuchtstoffröhren installiert.

- Die **Phase 1** dauerte vom 09. Dezember 1997 bis 04. Februar 1998.

In dieser Phase waren die Vollspektrumlampen („Blau“) in der Klasse 2a, die herkömmlichen Leuchtstoffröhren („Rot“) in der Klasse 2b installiert¹⁵⁴.

Nach Ende der Phase 1 wurden in den Schulferien im Februar (14. bis 22. Februar 1998) die Lampen der beiden Klassen miteinander vertauscht.

¹⁵³ vgl. Kap.3.1.1

¹⁵⁴ vgl. Tabelle 2

- Die **Phase 2** dauerte vom 14. Februar bis 21. April 1998.

In dieser Phase befanden sich die herkömmlichen Leuchtstoffröhren („Rot“) in der Klasse 2a, während die Vollspektrumlampen („Blau“) in der Klasse 2b installiert waren¹⁵⁴.

Die beiden Testphasen (Phase 1 und 2) gingen jeweils über 67 Tage. Die SchülerInnen befanden sich pro Phase insgesamt 34 Tage unter dem Einfluß der Beleuchtung, 33 Tage waren frei¹⁵⁵.

In beiden Phasen fanden jeweils zwei Untersuchungen statt:

- * Eine *zweitägige Zwischenuntersuchung* (auch mit „Mitte“ bezeichnet), die nach 16 Tagen Lichtbestrahlung (bezogen auf den Beginn der jeweiligen Phase) durchgeführt wurde und
- * eine *viertägige Hauptuntersuchung* (auch mit „Ende“ bezeichnet), die nach 30 Tagen Lichtbestrahlung (bezogen auf den Beginn der jeweiligen Phase) durchgeführt wurde.

In den Zwischenuntersuchungen wurden nur Teile der Parameter, in den Hauptuntersuchung hingegen die Werte aller Parameter¹⁵⁶ erhoben.

Phase	Datum	Dauer
Baseline	01. - 04.12.1998	4 Tage
Phase 1	09.12.1997 - 13.02.1998	67 Tage 34 Tage mit Licht 33 Tage frei
Zwischenuntersuchung 1 („Mitte“)	21. - 22.01.1998	2 Tage
Hauptuntersuchung 1 („Ende“)	10. - 13.02.1998	4 Tage
Phase 2	14.02. - 21.04.1998	67 Tage: 34 Tage mit Licht 33 Tage frei
Zwischenuntersuchung 2 („Mitte“)	17. - 18.03.1998	2 Tage
Hauptuntersuchung 2 („Ende“)	16./17. + 20./21.04.1998	4 Tage

Tabelle 3: Überblick über die zeitliche Abfolge der einzelnen Phasen und Untersuchungen

¹⁵⁵ vgl. Tabelle 3

¹⁵⁶ vgl. nachfolgendes Kap. 5.4

5.4 Parameterbeschreibung

5.4.1 Allgemeine Vorbemerkungen

Die Untersuchung aller Parameter erfolgte in der Baseline und während der Hauptuntersuchungen in beiden Phasen. Daten bezüglich des Blutdrucks, des Pulses und der Atemfrequenz wurden zusätzlich auch während der Zwischenuntersuchungen in beiden Phasen erhoben.

Nach Beendigung der Phase 2 wurde die Konstellation der Beleuchtung so belassen und noch eine zusätzliche Zahnuntersuchung Anfang Juli durchgeführt, um etwaige längerfristige Auswirkungen des Lichts auf die Zähne erfassen zu können.

Die Erhebung der Parameter-Daten erfolgte immer zu ähnlichen Zeitpunkten, um eine bessere Vergleichbarkeit der Daten zu gewährleisten und Änderungen aufgrund des circadianen Verlaufs¹⁵⁷ vieler Parameter auszuschließen. Diese Vorgabe wurde durch die Schulzeiten erleichtert. Ein Großteil der Untersuchungen fand in den ersten vier Schulstunden statt. Die Untersuchungen der Augen wurden immer am Nachmittag abgehalten, da diese mit einem größeren Zeitaufwand verbunden waren und deshalb am Vormittag während der Schulstunden nicht durchführbar waren.

5.4.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz

5.4.2.1 Allgemeine Bemerkungen

Die Messung dieser Parameter wurde von zwei Personen während der Schulstunden in den Klassenräumen vorgenommen. Es kamen jeweils zwei SchülerInnen dem Alphabet nach an die Reihe. Um die Störung des Unterrichts möglichst gering zu halten, wurde die Untersuchung hinter einer Trennwand durchgeführt.

Die durchgeführten Messungen nahmen pro Klasse eine Schulstunde in Anspruch.

Die in diesem Zuge erhobenen Variablen waren der diastolische und der systolische Blutdruck, sowie der Puls und die Atemfrequenz.

Die Blutdruckdaten wurden im Zuge der Analyse in drei Gruppen eingeteilt:

¹⁵⁷ vgl. Kap. 3.1.3.1

- a) Es wurden die Werte *aller* SchülerInnen miteinbezogen.
- b) Es wurden nur die Werte jener SchülerInnen miteinbezogen, deren Baseline-Werte für die Diastole bzw. die Systole *innerhalb* eines bestimmten Normbereichs lagen.
- c) Es wurden nur die Werte jener SchülerInnen miteinbezogen, deren Baseline-Werte für die Diastole bzw. die Systole *außerhalb* eines bestimmten Normbereichs lagen.

Der hier verwendete Normbereich ist von der Autorin selbst festgesetzt. Er stellt eine Kombination von Werten dar, die einerseits aus Gesprächen mit einem praktischen Arzt resultieren und andererseits aus verschiedenen Literaturquellen stammen.

Normbereich Diastole: 59 - 86 mmHg

Normbereich Systole: 99 - 131 mmHg

5.4.2.2 Durchführung der Messungen

Es wurden halbautomatische Blutdruckmeßgeräte der Marke Micro Life verwendet. Diese Geräte geben drei Werte an: den diastolischen bzw. systolischen Blutdruck und den Puls. Der Meßbereich liegt für die Systole bzw. Diastole zwischen 30 und 280 mmHg, während die Spannweite für den Puls zwischen 40 und 200 pro Minute lag.

Die Atemfrequenz wurde durch Beobachten des Brustkorbhebens und -senkens bei den Jugendlichen beobachtet und durch gleichzeitiges Stoppen der Zeit gemessen.

5.4.3 Fehlstunden

Die Anzahl der Fehlstunden wurde aufgrund von Klassenbucheintragungen eruiert. Befreiungen vom Turnunterricht wurden nicht berücksichtigt. Es wurden drei Zeiträume miteinander verglichen, die jeweils über 34 Schultage gingen:

- ⇒ Die Zeit vor der Installierung der Vollspektrumlampen. Um auch hier eine gleich lange Zeitspanne berücksichtigen zu können, wurde vom Ende der Baseline zurückgerechnet und die Schultage zwischen dem 21. Oktober und 08. Dezember 1998 als Basis herangezogen.
- ⇒ Die Schultage in der Phase 1 vom 09. Dezember 1997 bis 13. Februar 1998.
- ⇒ Die Schultage in der Phase 2 vom 14. Februar bis 21. April 1998.

5.4.4 Karieshäufigkeit

Die Untersuchung der Zähne wurde an jeweils einem Tag der Baseline und der beiden Hauptuntersuchungen durchgeführt. Ein außerhalb der vorgesehenen Testphasen liegender Termin fand Anfang Juli statt.

Der Zeitpunkt der Kontrolle war jedesmal für eine der beiden Klassen mit 8 Uhr, für die andere mit 10 Uhr festgesetzt.

Alle vier Untersuchungen wurden an der Schulzahnklinik in Graz durchgeführt. Dieser Ort wurde aufgrund der dort vorhandenen Untersuchungsbedingungen und der geographischen Nähe zur Schule ausgewählt. Die SchülerInnen konnten sich dort vor der Untersuchung die Zähne putzen, was der Aussagekraft der erhobenen Daten zugute kommt.

Die Dauer der Untersuchung betrug etwa fünf Minuten pro SchülerIn.

Gegenstand der Untersuchung, die man mit Hilfe einer Spiegelsonde durchführte, war der Zahn und nicht der Zustand des Zahnhalteapparates (wie etwa Zahnfleisch und der Zahntaschen). Die Zähne wurden auf Karies hin untersucht, wobei jede einzelne Fläche der Zähne beurteilt wurde (sogenannte „große Statistik“). Der Zustand der Zähne wurde mit Hilfe verschiedener Kategorien beschrieben:

- ⇒ gesund
- ⇒ kariös
- ⇒ gefüllt
- ⇒ fehlend wegen Karies
- ⇒ fehlend wegen Zahnwechsel
- ⇒ nicht bewertbar (aufgrund von Unfällen, Regulierungen, Versiegelungen)

In die statistische Auswertung wurden die Änderungen hinsichtlich der Anzahl der von Karies befallenen Oberflächen (kariös, gefüllt) in den jeweiligen Phasen aufgenommen.

5.4.5 Lärmpegel

5.4.5.1 Allgemeine Bemerkungen

Während der beiden Hauptuntersuchungen wurde der Lärmpegel an jeweils zwei Tagen in jeder Klasse gemessen.

Die Untersuchungseinheiten der vorliegenden Studie waren die ersten vier Schulstunden bzw. Pausen, für die mit Hilfe des Softwareprogramms am Computer jeweils ein Mittelwert berechnet wurde.

In der Baseline sollte an jeweils einem Tag in jeder Klasse der Lärmpegel gemessen werden. Während dieser Messungen ließ man das Gerät über die Nacht laufen. Durch die absolute Stille in den Klassenzimmern während der Nachtstunden kam es zu einer Unterschreitung des Meßbereichs, was die aufgezeichneten Daten unbrauchbar machte. So mußte die Meßserie als ungültig abgebrochen werden und in der darauffolgenden Woche, die eigentlich schon in Phase 1 lag, wiederholt werden. Diese Ungenauigkeit wird jedoch mit der Begründung, daß die Wirkung von Licht auf den Lärmpegel nicht innerhalb so kurzer Zeit eintritt, außer acht gelassen und die Daten trotzdem als Baseline-Daten verwendet.

Für die Messung wurde in der untersuchten Klasse ein Mikrofon an der Decke über dem Lehrertisch angebracht und in den Raum gerichtet. Der damit verbundene Schallpegelmesser war an einen Computer angeschlossen, der die Daten mit Hilfe eines entsprechenden Softwareprogramms direkt aufzeichnete und abspeicherte. So war es nicht notwendig, die ganze Zeit während der Lärmessungen in der Klasse zu bleiben.

5.4.5.2 Gerätedaten

Schallpegelmesser Typ 2231 der Firma Brüel & Kjaer (Modul-Schallpegelmesser mit Integrationsmodul) ¹⁵⁸. Der Schallpegelmesser leitet die erfaßten Werte ($L_{A,eq}$) alle 0,1 Sekunden an einen angeschlossenen Computer weiter.

Der Meßbereich dieses Geräts liegt zwischen 40 und 100 dB. Werte unter diesem Bereich werden nicht erfaßt, die meßbaren Spitzenpegel liegen bei 113 dB.

Vor jeder Messung wurde der Schallpegelmesser kalibriert. Die Eichung des Geräts erfolgte 1996.

Pegelschreiber - Datenerfassung mit dem Softwareprogramm 2231oe der Firma Brüel & Kjaer (auf DOS-Basis):

Die Aufzeichnung des Schallpegels ($L_{A,eq}$) erfolgt durchlaufend alle 0,1 Sekunden. Anhand der elektronisch erfaßten Werte kann man später den Lärmpegel zu jeder Zeit ablesen und für die gewählten Zeiteinheiten Mittelwerte bilden.

¹⁵⁸ vgl. Abbildung des Schallpegelmessers im Anhang

5.4.6 Sehvermögen

5.4.6.1 Allgemeine Bemerkungen

Mit Hilfe verschiedener Sehtests wurde eine Beurteilung des Sehvermögens durchgeführt, um etwaige Änderung infolge des Lichteinflusses feststellen zu können. Die Untersuchung der Augen an den Nachmittagen erfolgte in den jeweiligen Klassenräumen unter dem gleichen Licht, unter dem sich die SchülerInnen auch an den Schulvormittagen aufhielten.

Pro SchülerIn mußte mit einem Zeitaufwand von etwa 10 bis 15 Minuten gerechnet werden, abhängig davon, ob eine Korrektur der Fehlsichtigkeiten vorhanden war oder nicht. Die Durchführung einiger Tests hatte - bei Vorhandensein einer Korrektur - sowohl mit als auch ohne diese zu erfolgen. In beiden Klassen besaßen die SchülerInnen ausnahmslos Brillen als Korrekturmittel für ihre Fehlsichtigkeiten.

Es wurden folgende Tests durchgeführt:

- ⇒ *Fernsehtest* (Tafel mit Symbolen in 3 m Abstand)
- ⇒ *Nahsehtest* (Tafel mit Symbolen in 40 cm Abstand)
 - 1) und 2) wurden jeweils mit und ohne Korrektur (Brille) durchgeführt und außerdem jeweils monocular (nur links- bzw. nur rechtssehend) und binocular (mit beiden Augen).
- ⇒ *Kontrastsehtest* (Tafel mit Symbolen in 3 m Abstand)
Diese Untersuchung wurde jeweils mit und ohne Korrektur (Brille) durchgeführt.
- ⇒ *Stereosehtest* (verschiedene 3D-Tests mit Figuren)
Die Durchführung erfolgte, wenn vorhanden, mit Korrektur (Brille).
- ⇒ Weiters wurde die *Akkommodation* mit Hilfe eines Akkommodameters gemessen.
Auch dieser Test wurde, wenn vorhanden, mit Korrektur (Brille) durchgeführt.

5.4.6.2 Fern-, Nah- und Kontrastsehtest

Diese drei Tests stammen alle aus einer Serie¹⁵⁹. Der Vorteil dieser Tests ist die Verwendung von Symbolen anstatt von Buchstaben oder Ziffern. Die Tests sind aus vier einfachen Symbolen aufgebaut (Viereck, Kreis, Haus und Apfel), die in Zeilen angeordnet sind¹⁶⁰. Dadurch ergibt sich die besondere Eignung für die Anwendung mit jungen

¹⁵⁹ Lea-Screener, Near Vision Testing, Distance Vision Testing und Contrast Sensitivity Testing, entwickelt von Lea Hyvärinen; Quelle: Hyvärinen L., Lea-Screener, Handbuch zu Nah-, Fern- und Kontrastsehtest, Lighthouse Low Vision Products, USA, 1992

¹⁶⁰ vgl. Abbildung des Fernsehtests im Anhang

Probanden. Da nicht jeder Jugendliche die Symbole gleich benennt, wurde vor jedem Test mit den Jugendlichen abgesprochen, wie sie die vier Symbole bezeichnen wollten.

Durch die Ähnlichkeit der Symbole wird einem Lerneffekt vorgebeugt, der bei mehrmaliger Anwendung des Tests (monocular, binocular, mit und ohne Korrektur) auftreten kann. Die eingesetzten Tests können deshalb wiederholt verwendet werden, ohne diesen Effekt aufzuweisen.

Weiters ist gewährleistet, daß die SchülerInnen nicht auf ihr Formenverständnis hin überprüft werden. Dadurch gibt es für SchülerInnen, die auf diesem Gebiet eher schwach sind, keine Benachteiligungen. Auch Legasthenikern werden so die gleichen Bedingungen geboten wie Nicht-Legasthenikern.

Die Tests sind nach dem Snellen-Prinzip aufgebaut, der Abstand zwischen den Zeilen entspricht genau einer Optotype, also einem Symbol. Wird ein Symbol nicht mehr erkannt, so verschwimmt es zu einem Kreis.

In jeder Zeile des *Fern- und des Nahsehtests* befinden sich fünf Symbole. Jede Zeile, in der mindestens fünfzig Prozent der Symbole erkannt werden, gilt als gesehen. In der letzten gesehenen Zeile wird die Sehstärke abgelesen.

Der Fernsehtest wird in einer Entfernung von 3 m angebracht, während der Nahsehtest den Jugendlichen in einem Abstand von 40 cm vorgegeben wird.

Beim *Kontrastsehtest* wird jeweils nur das erste Symbol in jeder Zeile erfragt und bei richtiger Antwort die Zeile als gesehen verzeichnet. Beim ersten nicht erkannten Symbol wird in der vorhergehenden Zeile die genaue Anzahl der erkannten Symbole abgetestet und aufgezeichnet. Die Tafel wird hier in einem Abstand von 3 m angebracht.

5.4.6.3 Stereosehtests¹⁶¹

- Zur Überprüfung des Stereosehens bei den SchülerInnen wurden unterschiedliche Tests eingesetzt.

Der Stereotest nach *Lang* wurde als Ausschlußkriterium für die statistische Auswertung verwendet.

Hier geht es darum, auf einer Tafel, die in einem Abstand von 40 cm (=Leseabstand) parallel zur Stirn gehalten wird, die darauf abgebildeten Figuren (Auto, Katze, Stern) zu erkennen. War es den SchülerInnen nicht möglich, diese Figuren zu sehen, so wurden sie aufgrund des nicht vollständig funktionierenden Stereosehens aus der gesamten statistischen Auswertung ausgeschlossen.

¹⁶¹ vgl. Abbildungen im Anhang

Ein anderer Test war der *Titmus-Test*, der unter Verwendung einer speziellen Brille durchgeführt wird. Der für die statistische Auswertung relevante Teil des Tests ermittelte, bis zu welcher Abbildung für die SchülerInnen eine Tiefenwirkung der darauf abgebildeten Symbole („Ringe“) gegeben war.

Der dritte eingesetzte Test wurde mit einer speziellen Rot-Grün-Brille durchgeführt. Beim *TNO-Test* bilden verschiedenfarbige Punkte geometrische Figuren, die zu einem Tiefeneindruck führen.

5.4.6.4 Akkommodations-Test

Der letzte Parameter, die *Akkommodation*¹⁶², wurde über den Akkommodationsnahpunkt¹⁶³ erfaßt. Mit Hilfe des Akkommodameters werden kleine Optotypen langsam soweit an die Augen angenähert, bis Unschärfe eintritt.

Die erhobenen Größen waren das Alter, dem der gemessene Akkommodationswert entspricht, und die Dioptrien¹⁶⁴.

5.5 Statistische Auswertungen

Von der statistischen Auswertung wurden jene SchülerInnen ausgeschlossen, von denen in der Baseline keine Daten erhoben werden konnten. Bei den Untersuchungen des Sehvermögens gab es ein weiteres Ausschlußkriterium¹⁶⁵.

Für die Ermittlung von Unterschieden zwischen den beiden Klassen in der Baseline wurde der t-Test für unabhängige Stichproben eingesetzt. Zur Überprüfung der Varianzenhomogenität der Baseline-Daten wurde der Levene-Test¹⁶⁶ verwendet.

Um etwaige Änderungen der erhobenen Parameter in Abhängigkeit von den unabhängigen Variablen herauszufinden, wurde eine mehrfaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung eingesetzt¹⁶⁷.

¹⁶² vgl. *Akkommodation* Kapitel 3.1.2

¹⁶³ Kaufmann, H. (Hrsg.), *Strabismus*, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986, S. 334

¹⁶⁴ vgl. *Brechkraft* Kap. 3.1.2

¹⁶⁵ vgl. *Stereosehtests* Kap. 5.4.6.3

¹⁶⁶ Der *Levene-Test* überprüft die Nullhypothese, daß die Variablen in der Grundgesamtheit gleich sind. Er gibt als statistisches Prüfmaß den F-Wert an. (Quelle: Brosius, G., Brosius, F., *SPSS. Base Systems and Professional Statistics*, Bonn; Albany [u.a.]: International Thomson Publishing, 1995, S. 409)

¹⁶⁷ Die *mehrfaktorielle Varianzanalyse* überprüft, wie eine abhängige Variable von mehreren unabhängigen Variablen (=Faktoren) beeinflußt wird. Die Varianzanalyse mit Meßwiederholung trägt dem Umstand Rechnung, daß dieselben Versuchspersonen mehrmals untersucht wurden. (Quelle: Bortz, J., *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer, 1989, S. 402ff)

Für die Variablen des Blutdrucks, des Pulses und der Atemfrequenz wurde eine *dreifaktorielle Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf zwei Faktoren* eingesetzt. Die Daten wurden in Abhängigkeit von den drei Variablen „Licht“ (Vollspektrumlicht, herkömmliches Licht), „Klasse“ (2a, 2b) und „Zeitpunkt“ (Vollspektrum-Mitte, Vollspektrum-Ende, herkömmlich-Mitte, herkömmlich-Ende) untersucht.

Diese Methode wurde angewandt, da die Werte des Blutdrucks, des Pulses und der Atemfrequenz in jeder Phase zweimal erhoben wurden: Jeweils einmal während der Zwischenuntersuchung („Mitte“) und einmal während der Hauptuntersuchung („Ende“).

Die Daten aller anderen Variablen wurden mit Hilfe der *zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Meßwiederholung auf einem Faktor* ausgewertet. Hier wurde neben dem Einfluß der Variable „Licht“ (Vollspektrumlicht, herkömmliches Licht) jener der Variable "Klasse" (Klasse 2a, Klasse 2b) berücksichtigt. Für diese Variablen wurden die Werte nur jeweils einmal pro Phase (zum Zeitpunkt „Ende“) erhoben.

Die abhängigen Variablen dieser Studie ergaben sich aus den Differenzen der in den einzelnen Testphasen und jener in der Baseline erhobenen Werten. Die Berechnung sah folgendermaßen aus: Von den Werten jedes Erhebungszeitpunkts während der Testphasen (Vollspektrum-Mitte, Vollspektrum-Ende, herkömmlich-Mitte, herkömmlich-Ende) wurden die in der Baseline erhobenen Werte abgezogen (wie z.B. systolischer Blutdruck zum Zeitpunkt Vollspektrum-Mitte minus dem in der Baseline gemessenen Wert).

Aufgrund dieser Vorgehensweise kam es zum Auftreten von negativen Mittelwerte.

Zur Überprüfung der Varianzenhomogenität wurde der Bartlett-Box M-Test (für ungleich große Stichproben) herangezogen.

Das Signifikanzniveau, das hier allgemein zur Anwendung kam, wurde mit $p = .05$ festgelegt. Ergebnisse mit $p < .05$ galten als signifikant (s.), mit $p > .05$ als nicht signifikant (n.s.).

Eine Ausnahme bildete der Fall einer auftretenden Varianzenheterogenität: Um diese auszugleichen, wurde in Übereinstimmung mit der Vorgehensweise bei Kern¹⁶⁸ auf dem 1% Niveau getestet. In diesen Fällen galten Ergebnisse mit $p < .01$ als signifikant, solche mit $p > .01$ als nicht signifikant.

Für eine weiterführende Untersuchung von signifikanten Resultaten wurde der sogenannte Tukey's-HSD-Posttest eingesetzt. Mit Hilfe dieses Tests können das Vorliegen und die Richtung der einzelnen Wechselwirkungen genau bestimmt werden.

¹⁶⁸ Kern, S., Die Wirkung von Vollspektrum-Licht („True-Lite“) gegenüber herkömmlicher Beleuchtung auf psychische Parameter von Schülern, 1998

6 Darstellung der Ergebnisse

6.1 Darstellungsform

Die Darstellung der Ergebnisse ist wie folgt aufgegliedert:

Zuerst wird das Resultat des t-Tests angeführt. Anhand dieses Tests werden die beiden Klassen in der *Baseline* auf Unterschiede hinsichtlich der jeweiligen Größe untersucht.

Weiters werden die *Mittelwerte* der Differenzen der einzelnen Größen in Tabellen angegeben. Die Zahl der in die jeweilige Analyse einbezogenen Versuchspersonen (Vpn) ist ebenfalls in diesen Tabellen abzulesen.

Für die *Varianzanalyse* werden nur signifikante Ergebnisse dargestellt.

Ergibt sich aus der Durchführung des Bartlett-Box M-Tests eine Varianzenheterogenität, so wird dies extra angeführt.

6.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz

6.2.1 Blutdruck¹⁶⁹

Systole - alle SchülerInnen

Baseline:

- Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Systole-Werte keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(53)} = -.17$; n.s.).

¹⁶⁹ Die Analyse der Blutdruckwerte erfolgte anhand einer Einteilung in drei Gruppen; vgl. Kap. 5.4.2.1

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	7,526	19	1,789	19	5,000	19	5,579	19
2b	2,174	23	8,870	23	10,783	23	2,261	23

Tabelle 4: Mittelwerte der Differenzen „Systole - alle SchülerInnen“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den dreifachen Wechselwirkungseffekt „Klasse x Licht x Zeitpunkt“: $F_{(1,40)} = 12.25$; s.

Diese Wechselwirkung hatte einen Einfluß auf die Systole.

Bei einer näheren Untersuchung (Tukey's Post Test) konnte jedoch kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden.

Diastole - alle SchülerInnen*Baseline:*

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Diastole-Werte keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(53)} = -1.26$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	1,579	19	0,263	19	2,947	19	3,158	19
2b	-2,043	23	-2,261	23	0,609	23	-2,478	23

Tabelle 5: Mittelwerte der Differenzen „Diastole - alle SchülerInnen“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Systole - innerhalb des Normbereichs

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Systole-Werte innerhalb des Normbereichs keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(25)} = -.18$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht(„Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	5,222	9	-6,889	9	-3,444	9	2,333	9
2b	-3,667	12	4,333	12	7,917	12	0,583	12

Tabelle 6: Mittelwerte der Differenzen „Systole innerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den dreifachen Wechselwirkungseffekt „Klasse x Licht x Zeitpunkt“: $F_{(1,19)} = 24.51$; s.

Diese Wechselwirkung hatte einen Einfluß auf die Systole innerhalb des Normbereichs.

Bei einer näheren Untersuchung (Tukey's Post Test) konnten signifikante Ergebnisse festgestellt werden:

Die SchülerInnen der Klasse 2a, deren Baseline-Werte innerhalb des Normbereichs lagen, hatten unter Vollspektrumlicht zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) höhere Systole-Werte als zum Zeitpunkt „Ende“ (während der Hauptuntersuchungen).

Weiters zeigten die SchülerInnen der Klasse 2a zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) unter herkömmlichem Licht höhere Systole-Werte als unter Vollspektrumlicht.

Diastole - innerhalb des Normbereichs

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Diastole-Werte innerhalb des Normbereichs keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(25)} = -1.39$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht(„Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	4,111	9	1,000	9	0,444	9	6,333	9
2b	-3,083	12	1,667	12	2,583	12	-0,917	12

Tabelle 7: Mittelwerte der Differenzen „Diastole innerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den dreifachen Wechselwirkungseffekt „Klasse x Licht x Zeitpunkt“: $F_{(1,19)} = 7.03$; s.

Diese Wechselwirkung hatte einen Einfluß auf die Diastole innerhalb des Normbereichs.

Bei einer näheren Untersuchung (Tukey's Post Test) konnte jedoch kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden.

Systole - außerhalb des Normbereichs*Baseline:*

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Systole-Werte außerhalb des Normbereichs keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(26)} = -.21$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht(„Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	9,600	10	9,600	10	12,600	10	8,500	10
2b	8,545	11	13,818	11	13,909	11	4,091	11

Tabelle 8: Mittelwerte der Differenzen „Systole außerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Diastole - außerhalb des Normbereichs

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Diastole-Werte außerhalb des Normbereichs keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(26)} = -.78$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	-0,700	10	-0,400	10	5,200	10	0,300	10
2b	-0,909	11	-6,545	11	-1,545	11	-4,182	11

Tabelle 9: Mittelwerte der Differenzen „Diastole außerhalb des Normbereichs“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.2.2 Puls

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Puls-Werte keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(53)} = .20$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	-8,000	19	-0,647	19	-3,471	19	-2,824	19
2b	-7,391	23	4,957	23	5,739	23	3,696	23

Tabelle 10: Mittelwerte der Differenzen „Puls“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergaben sich zwei signifikante Ergebnisse:

- a) für den Haupteffekt „Klasse“: $F_{(1,38)} = 7.24$; s.

Die SchülerInnen in der Klasse 2a wiesen unabhängig von der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung niedrigere Pulswerte auf als die SchülerInnen der Klasse 2b.

- b) für den zweifachen Wechselwirkungseffekt „Klasse x Zeitpunkt“: $F_{(1,38)} = 5.80$; s.

Diese Wechselwirkung hatte einen Einfluß auf den Puls.

Bei einer näheren Untersuchung (Tukey's Post Test) konnte ein signifikantes Ergebnis festgestellt werden:

Zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) wiesen die SchülerInnen der Klasse 2b unabhängig von der Art des Lichts höhere Pulswerte auf als die SchülerInnen der Klasse 2a.

6.2.3 Atemfrequenz

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Atemfrequenz-Werte keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(53)} = -.52$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)				herkömmliches Licht („Rot“)			
	Mitte		Ende		Mitte		Ende	
	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn	Mittelwert	Vpn
2a	-0,211	19	0,000	19	0,211	19	-1,263	19
2b	0,000	23	-2,545	23	-1,636	23	-2,182	23

Tabelle 11: Mittelwerte der Differenzen „Atemfrequenz“ in Abhängigkeit von der Klasse, der Art des Lichts und dem Zeitpunkt der Messung

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den Haupteffekt „Zeitpunkt“: $F_{(1,39)} = 7.14$; s.

Die SchülerInnen beider Klassen wiesen zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) unabhängig von der Art des Lichts höhere Atemfrequenz-Werte auf als zum Zeitpunkt „Ende“ (während der Hauptuntersuchungen).

6.3 Fehlstunden

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Fehlstunden keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(54)} = -.58$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	4,250	28	-1,000	28
2b	9,857	28	9,679	28

Tabelle 12: Mittelwerte der Differenzen „Fehlstunden“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Der Bartlett-Box M-Test ergab eine Heterogenität der Varianzen. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde deshalb anhand des 1% Niveaus beurteilt.

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.4 Karieshäufigkeit

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Karieshäufigkeit keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(49)} = .21$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,037	27	0,370	27
2b	0,500	24	0,417	24

Tabelle 13: Mittelwerte der Differenzen „Karieshäufigkeit“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Der Bartlett-Box M-Test ergab eine Heterogenität der Varianzen. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde deshalb anhand des 1% Niveaus beurteilt.

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den zweifachen Wechselwirkungseffekt „Klasse x Licht“: $F_{(1,49)} = 10.99$; s.

Diese Wechselwirkung hatte einen Einfluß auf die Karieshäufigkeit.

Bei einer näheren Untersuchung (Tukey's Post Test) konnte jedoch kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden.

6.5 Lärmpegel

6.5.1 Allgemeine Auswertungen

In *Tabelle 14* wird ein Überblick über die in den einzelnen Untersuchungseinheiten gemessenen Mittelwerte gegeben.

Klasse	Baseline		Blau Ende		Rot Ende		Nummer der Einheit
	Stunden	Pausen	Stunden	Pausen	Stunden	Pausen	
2a	68,2	83,3	66,1	82,5	65,1	81,7	1
	69,0	79,5	67,2	79,4	67,1	80,4	2
	61,6	78,8	66,6	82,0	66,3	84,6	3
	67,8	88,7	68,7	82,6	70,6	84,9	4
2b	81,0	82,5	67,3	82,0	75,7	81,5	1
	73,1	83,3	68,6	78,8	71,2	81,4	2
	67,9	85,8	67,2	82,6	74,3	86,9	3
	70,7	83,7	72,8	81,3	68,6	83,3	4

Tabelle 14: Mittelwerte der Lärmpegel in den einzelnen Untersuchungseinheiten (Stunden bzw. Pausen) in Abhängigkeit von der Klasse und den verschiedenen Phasen; $L_{A,eq}$, Angaben in Dezibel (dB)

Der Mittelwert über alle Stunden und beide Klassen betrug 71,7 dB, jener über alle Pausen und beide Klassen 83,3 dB.

6.5.2 Stunden

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Lärmpegel in den Stunden keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(6)} = -1.98$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Werte	Mittelwert	Anzahl der Werte
2a	0,500	4	0,625	4
2b	-4,200	4	-0,725	4

Tabelle 15: Mittelwerte der Differenzen „Lärmpegel in den Stunden“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.5.3 Pausen

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Lärmpegel in den Pausen keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(6)} = -.53$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Werte	Mittelwert	Anzahl der Werte
2a	-0,950	4	0,325	4
2b	-2,650	4	-0,550	4

Tabelle 16: Mittelwerte der Differenzen „Lärmpegel in den Pausen“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.6 Sehvermögen

6.6.1 Allgemeine Bemerkungen

Wie schon erwähnt¹⁷⁰, wurden der Fern- und der Nahsehtest sowohl monocular (links- bzw. rechtssehend) als auch binocular und der Fern-, Nah- und Kontrastsehtest sowohl mit als auch ohne Korrektur durchgeführt. Die Auswertung der Daten erfolgte für jede einzelne dieser Kategorien.

6.6.2 Fernsehtest

6.6.2.1 Ohne Korrektur

Monocular rechts

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (monocular rechts, ohne Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = -.23$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,047	27	0,108	27
2b	0,198	26	0,130	26

Tabelle 17: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular rechts ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

¹⁷⁰ vgl. Kapitel 5.4.6.2

Monocular links

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (monocular links, ohne Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .41$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,156	27	0,081	27
2b	0,230	26	0,180	26

Tabelle 18: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular links ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Binocular

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (binocular, ohne Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .10$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,204	27	0,118	27
2b	0,244	26	0,080	26

Tabelle 19: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest binocular ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den Haupteffekt „Licht“: $F_{(1,51)} = 5.46$; s.

Die SchülerInnen erzielten beim Fernsehtest binocular mit Korrektur unabhängig von der Klasse unter herkömmlichem Licht bessere Sehergebnisse als unter Vollspektrumlicht.

6.6.2.2 Mit Korrektur

Monocular rechts

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (monocular rechts, mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .42$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	<i>Vollspektrumlicht („Blau“)</i>		<i>herkömmliches Licht („Rot“)</i>	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,054	27	0,103	27
2b	0,227	26	0,155	26

Tabelle 20: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular rechts mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Monocular links

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (monocular links, mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .77$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	<i>Vollspektrumlicht („Blau“)</i>		<i>herkömmliches Licht („Rot“)</i>	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,159	27	0,099	27
2b	0,238	26	0,165	26

Tabelle 21: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest monocular links mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Binocular

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Fernsehtests (binocular, mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .95$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	<i>Vollspektrumlicht („Blau“)</i>		<i>herkömmliches Licht („Rot“)</i>	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,170	27	0,136	27
2b	0,240	26	0,060	26

Tabelle 22: Mittelwerte der Differenzen „Fernsehtest binocular mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.6.3 Nahsehtest

6.6.3.1 Ohne Korrektur

Monocular rechts

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (monocular rechts, ohne Korrektur) Unterschiede zwischen den beiden Klassen:

Beim Nahsehtest monocular rechts ohne Korrektur in der Baseline erzielten die SchülerInnen der Klasse 2b bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der 2a.

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,153	27	0,130	27
2b	0,212	26	0,228	26

Tabelle 23: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular rechts ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Monocular links**Baseline:**

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (monocular links, ohne Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = 1.70$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,080	27	0,131	27
2b	0,223	26	0,293	26

Tabelle 24: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular links ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Binocular**Baseline:**

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (binocular, ohne Korrektur) Unterschiede zwischen den beiden Klassen:

Beim Nahsehtest binocular ohne Korrektur in der Baseline erzielten die SchülerInnen der Klasse 2b bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der Klasse 2a.

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,012	27	0,017	27
2b	0,273	26	0,238	26

Tabelle 25: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest binocular ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den Haupteffekt „Klasse“: $F_{(1,51)} = 5.11$; s.

Beim Nahsehtest binocular ohne Korrektur erzielten die SchülerInnen der Klasse 2a unabhängig von der Art des Lichts bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der Klasse 2b.

6.6.3.2 Mit Korrektur

Monocular rechts*Baseline:*

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (monocular rechts, mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = 1.89$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,177	27	0,149	27
2b	0,211	26	0,253	26

Tabelle 26: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular rechts mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Monocular links

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (monocular links, mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = 1.30$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	<i>Vollspektrumlicht („Blau“)</i>		<i>herkömmliches Licht („Rot“)</i>	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,130	27	0,125	27
2b	0,164	26	0,288	26

Tabelle 27: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest monocular links mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

Binocular

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Nahsehtests (binocular, mit Korrektur) Unterschiede zwischen den beiden Klassen:

Beim Nahsehtest binocular mit Korrektur in der Baseline erzielten die SchülerInnen der Klasse 2b bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der Klasse 2a.

Mittelwerte:

Klasse	<i>Vollspektrumlicht („Blau“)</i>		<i>herkömmliches Licht („Rot“)</i>	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,032	27	0,079	27
2b	0,262	26	0,197	26

Tabelle 28: Mittelwerte der Differenzen „Nahsehtest binocular mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.6.4 Kontrastsehtest

6.6.4.1 Ohne Korrektur

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Kontrastsehtests (ohne Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = -.49$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	-0,021	27	-0,016	27
2b	0,033	26	0,043	26

Tabelle 29: Mittelwerte der Differenzen „Kontrastsehtest ohne Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Bei der Varianzanalyse ergab sich ein signifikantes Ergebnis für den Haupteffekt „Klasse“: $F_{(1,51)} = 5.82$; s.

Beim Kontrastsehtest ohne Korrektur erzielten die SchülerInnen der Klasse 2b unabhängig von der Art des Lichts bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der Klasse 2a.

6.6.4.2 Mit Korrektur

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Kontrastsehtests (mit Korrektur) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = 1.07$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	-0,029	27	-0,018	27
2b	0,022	26	0,027	26

Tabelle 30: Mittelwerte der Differenzen „Kontrastsehtest mit Korrektur“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.7 Stereosehtest - „Ringe“

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Stereosehtests (Ringe) Unterschiede zwischen den beiden Klassen:

Die SchülerInnen der Klasse 2a erzielten in der Baseline beim Stereosehtest bessere Sehergebnisse als die SchülerInnen der Klasse 2b.

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	0,037	27	0,519	27
2b	0,731	26	0,038	26

Tabelle 31: Mittelwerte der Differenzen „Stereosehtest - Ringe“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Der Bartlett-Box M-Test ergab eine Heterogenität der Varianzen. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde deshalb anhand des 1% Niveaus beurteilt.

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.7.1 Akkommodation

6.7.1.1 Alter

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Akkommodationstests (Alter) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = .95$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	-3,037	27	-2,704	27
2b	-3,731	26	-4,769	26

Tabelle 32: Mittelwerte der Differenzen „Akkommodationstest - Alter“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Der Bartlett-Box M-Test ergab eine Heterogenität der Varianzen. Die Signifikanz der Ergebnisse wurde deshalb anhand des 1% Niveaus beurteilt.

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

6.7.1.2 Dioptrien

Baseline:

Laut t-Test bestanden in der Baseline bezüglich der Werte des Akkommodationstests (Dioptrien) keine Unterschiede zwischen den beiden Klassen ($t_{(51)} = -1.53$; n.s.).

Mittelwerte:

Klasse	Vollspektrumlicht („Blau“)		herkömmliches Licht („Rot“)	
	Mittelwert	Anzahl der Vpn	Mittelwert	Anzahl der Vpn
2a	1,148	27	0,481	27
2b	1,692	26	1,962	26

Tabelle 33: Mittelwerte der Differenzen „Akkommodationstest - Dioptrien“ in Abhängigkeit von der Klasse und der Art des Lichts

Varianzanalyse:

Die Varianzanalyse ergab kein signifikantes Ergebnis.

7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Allgemeine Bemerkungen

Das Hauptaugenmerk der Untersuchungen liegt bei den Wirkungen von Licht auf die untersuchten Parameter. Der Vollständigkeit halber werden jedoch auch signifikante Ergebnisse angeführt, die in Abhängigkeit von der Klassenzugehörigkeit bzw. vom Zeitpunkt der Untersuchung auftraten.

7.2 Blutdruck, Puls und Atemfrequenz

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen konnten keine eindeutigen Ergebnisse in Richtung einer stabilisierenden Wirkung von Vollspektrumlicht auf diese drei Parameter abgelesen werden.

- * Bei den Daten *Puls* ergaben die Auswertungen, daß die SchülerInnen der 2a unabhängig von der Art des Lichts und vom Zeitpunkt der Messung signifikant niedrigere Pulswerte als die SchülerInnen der 2b aufwiesen.

In die gleiche Richtung geht das Ergebnis, daß die SchülerInnen der 2a zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) unabhängig von der Art des Lichts signifikant niedrigere Pulswerte aufwiesen als ihre KollegInnen in der 2b.

- * Bei der Auswertung der Daten bezüglich der *Atemfrequenz* zeigte sich, daß die SchülerInnen unabhängig von der Klasse und der Art des Lichts zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchungen) signifikant höhere Atemfrequenz-Werte als zum Zeitpunkt „Ende“ (während der Hauptuntersuchungen) aufwiesen.

Bei der Berücksichtigung jener Probanden, deren Systole- bzw. Diastole-Werte *innerhalb des Normbereichs* lagen, kam es zu folgenden Ergebnissen:

- * Bei der Auswertung der *Systole-Werte innerhalb des Normbereichs* konnten bei den SchülerInnen der 2a unter Vollspektrumlicht zum Zeitpunkt „Mitte“ (während der Zwischenuntersuchung) signifikant höhere Werte als zum Zeitpunkt „Ende“ (während der Hauptuntersuchung) festgestellt werden.

Weiters zeigten sich bei den SchülerInnen der 2a zum Zeitpunkt „Mitte“ unter herkömmlichem Licht höhere Systole-Werte als unter Vollspektrumlicht.

Anzumerken ist hier jedoch, daß mit einer Versuchspersonenanzahl von neun SchülerInnen in der Klasse 2a („innerhalb des Normbereichs“) eine sehr kleine Stichprobengröße vorliegt und dem Ergebnis aus diesem Grund keine große Bedeutung zugemessen werden kann.

Um mögliche Effekte im Bereich des Blutdrucks zu beobachten, wäre es interessant, die Werte des Blutdrucks mit dem gleichzeitig erhobenen Wohlbefinden bzw. anderen psychologischen Parametern in Beziehung zu setzen. Diese Vorgehensweise war in der Aufgabenstellung dieser Studie jedoch nicht vorgesehen. Da im vorliegenden Versuchsaufbau auch bei der isolierten Analyse der psychologischen Größen¹⁷¹ keine signifikanten Ergebnisse beobachtet wurden, wäre die gleichzeitige Betrachtung der vorgeschlagenen Größen im vorliegenden Fall nicht zielführend.

Eine kombinierte Betrachtungsweise ist aber in die Überlegungen für den Aufbau nachfolgender Untersuchungen einzubeziehen.

7.3 Fehlstunden

Bei den Fehlstunden ergab sich kein signifikantes Ergebnis. Es konnte kein Einfluß des Vollspektrumlichts auf die Anzahl der Fehlstunden nachgewiesen werden.

7.4 Karieshäufigkeit

Bei der Auswertung der Daten bezüglich der Karieshäufigkeit wurden keine signifikanten Ergebnisse gewonnen. Es gab insgesamt keine erheblichen Veränderungen im Zahnzustand der untersuchten SchülerInnen.

Auch bei dem im Juli durchgeführten Nachtermin konnten keine Änderungen festgestellt werden.

Als Anmerkung sei hier angebracht, daß laut untersuchender Zahnärztin die SchülerInnen der Versuchsschule einen sehr guten Allgemeinzustand der Zähne im Vergleich zu anderen Schulen aufwiesen. Aus Gesprächen mit der Zahnärztin ging auch hervor, daß der Grund für die offensichtlich vorhandene sorgsame Zahnpflege in den gehobenen sozialen Niveaus der SchülerInnen zu finden ist. Durch diese überdurchschnittlich gute Zahnpflege, die dem Auftreten von Karies von Haus aus entgegenwirkt, gestaltet es sich allgemein schwieriger, Ergebnisse in Richtung einer Verminderung von Kariesfällen zu erzielen. Die Vermutung

¹⁷¹ vgl. Kern, S., Die Wirkung von Vollspektrum-Licht („True-Lite“) gegenüber herkömmlicher Beleuchtung auf psychische Parameter von Schülern, August 1998

lautet, daß bei einem allgemein schlechten Zahnzustand eine Reduktion der Karieshäufigkeit leichter zu beobachten ist.

7.5 Lärmpegel

Die Fragestellung dieser Studie muß im Falle des Lärmpegels folgendermaßen beantwortet werden:

Die hier durchgeführten Lärmmessungen ergaben keine signifikanten Ergebnisse. Weder für die Schulstunden noch die Pausen konnten signifikante Änderungen des Lärmpegels, die sich auf den Einfluß des Vollspektrumlichts zurückführen ließen, abgelesen werden.

In diesem Zusammenhang wird darauf hingewiesen, daß die Anzahl der Werte für die einzelnen Untersuchungseinheiten (in unserem Fall Mittelwerte über die Schulstunden bzw. die Pausen) sehr klein war und daher die Aussagekraft dieses Ergebnisses zu relativieren ist.

Der bereits erwähnte, in einer deutschen Studie erhobene durchschnittliche Lärmpegel in Schulklassen von 66 dB¹⁷² wird von den in der vorliegenden Untersuchung eruierten Mittelwerten überschritten¹⁷³. Da bei einem Lärmpegel dieser Größenordnung mit nachteiligen Folgen sowohl für SchülerInnen als auch für LehrerInnen gerechnet werden muß¹⁷⁴, wäre allgemein ein Augenmerk auf die Reduktion des Lärmpegels zu legen.

7.6 Sehvermögen

Unter den gegebenen Versuchsbedingungen konnten bei den Auswertungen der Daten keine Verbesserungen des Sehvermögens der SchülerInnen aufgrund des Einflusses von Vollspektrumlicht festgestellt werden.

In dieser Versuchsanordnung erzielte signifikante Ergebnisse betrafen andere Bereiche:

- * Beim *Fernsehtest* (binocular mit Korrektur) erzielten die SchülerInnen unabhängig von der Klasse unter herkömmlichem Licht signifikant bessere Sehergebnisse als unter Vollspektrumlicht.
- * Beim *Nahsehtest* traten folgende signifikante Ergebnisse zutage:

¹⁷² vgl. *Lärm* Kap. 3.2

¹⁷³ vgl. Tabelle 14, Kap. 6.5.1

¹⁷⁴ vgl. *Lärm* Kap. 3.2

Es wird empfohlen, diesen Sachverhalt bei weiterführenden Studien zu berücksichtigen.

- Eine andere Problematik stellt die rasante *Entwicklung* dar, die Jugendliche in diesem Alter durchmachen. In der Pubertät ändern sich viele Vorgänge im Körper, der Organismus befindet sich in einem Zustand der Veränderung. Auch dieser Sachverhalt trägt zur Relativierung der Untersuchungsergebnisse bei. Es stellt sich die Frage, ob es unter diesen Bedingungen überhaupt möglich ist, bei Jugendlichen dieses Alters Wirkungen des Lichteinflusses festzumachen.

Für zukünftige Untersuchungen sollten andere Bevölkerungsgruppen herangezogen werden, die konstanteren Lebensbedingungen ausgesetzt sind und deren körperliche Entwicklung bereits abgeschlossen ist.

- Dem Bestreben, die natürliche *Sonneneinwirkung* durch die Verlegung des Untersuchungszeitraumes in die Wintermonate weitgehend auszuschalten, steuerte ein Winter mit überdurchschnittlich vielen Sonnenstunden entgegen¹⁷⁷.

Die eigentlich in dieser Studie untersuchten Lichtverhältnisse waren somit jene eines Mischlichts. Es wurden nicht die Wirkungen von Vollspektrumlicht bzw. herkömmlichem Licht isoliert untersucht, sondern der Einfluß von Mischlicht. Dieses Mischlicht setzte sich aus dem durch die südwestlich ausgerichteten Fenster einfallenden Sonnenlicht und dem jeweiligen künstlichen Licht zusammen. Durch das Sonnenlicht wurde das herkömmliche Leuchtstoffröhrenlicht in seiner Qualität verbessert, das Vollspektrumlicht in seiner Quantität erhöht. Dieser Sachverhalt stellt einen der Hauptmängel der vorliegenden Studie dar.

Um dem Einfluß des Sonnenlichts vorzubeugen, sollten weiterführende Untersuchungen in Räumen mit einer Fensterausrichtung nach Norden durchgeführt werden.

- Ein weiterer Aspekt hinsichtlich der Einwirkung von natürlichem Tageslicht ist die nicht überprüfbare *Freizeitgestaltung* der Jugendlichen. In einem Internatsbetrieb wäre z.B. gewährleistet, daß alle SchülerInnen ähnliche Zeitspannen im Freien und unter künstlichem Licht verbringen. In unserem Fall ist die Zeitgestaltung nach der Schule (meistens der gesamte Nachmittag) eine Unbekannte, die nicht in die Berechnungen einbezogen werden konnte.

All diese Einschränkungen müssen bei der Betrachtung der Untersuchung und ihrer Ergebnisse bedacht werden.

¹⁷⁷ vgl. Tabelle *Sonnenscheindauer im untersuchten Zeitraum* im Anhang

7.8 Ausblick

Unter den gegebenen Bedingungen (Dauer der Untersuchung, Anzahl der Versuchspersonen, Tageslichteinfluß und dem Alter der Versuchspersonen) konnte kein Unterschied zwischen herkömmlichem Leuchtstoffröhrenlicht und Vollspektrumlicht nachgewiesen werden.

Als Resultat dieser Studie liegen wertvolle Hinweise bezüglich des Designs und der Durchführung für nachfolgende Untersuchungen vor, deren Beachtung für einen Nachweis von Wirkungen wichtig ist.

Folgende Punkte sind zu beachten:

- Der Untersuchungszeitraum soll mindestens über ein Jahr gehen. In diesem Zeitraum sollen die Messungen jedoch nicht öfter stattfinden als im vorliegenden Versuchsaufbau. Es kommt hier v.a. auf die Verlängerung der Einwirkungszeit des Lichts zwischen den einzelnen Messungen an.
- Wichtig ist es, den Einfluß des Tageslichts weitgehend auszuschalten. Dies kann etwa durch die Verwendung von Räumen mit nördlich ausgerichteten Fenstern erreicht werden.
- Die Anzahl der Versuchspersonen soll höher veranschlagt werden. Dadurch wird erreicht, daß Personen, die bei einzelnen Untersuchungen fehlen, nicht so sehr ins Gewicht fallen und auch bei Gruppenbildungen (wie etwa beim Blutdruck¹⁷⁸) ausreichend große Stichproben vorliegen. Ein Vorschlag der Autorin ist eine Erhöhung auf mindestens das Dreifache.
- Bei der Auswahl der Versuchspersonen ist auf eine möglichst konstante Lebensführung dieser Personen zu achten, um die nicht kontrollierbaren Faktoren, die jedoch einen Einfluß auf das Ergebnis haben könnten, weitgehend auszuschalten.
- Weiters ist es sinnvoll, die Zahl der untersuchten Parameter einzuschränken und sich nur auf einige wenige zu konzentrieren.
 - * Bei der Erhebung des Parameters *Blutdruck* ist zu beachten, daß dieser sowohl im circadianen Verlauf als auch in Abhängigkeit von der jeweiligen Meßsituation und anderen Einflußfaktoren erheblichen Schwankungen unterliegt. Die Interpretation dieses Werts und seiner Änderungen ist daher mit großer Vorsicht vorzunehmen. Wie bereits erwähnt¹⁷⁹, ist in diesem Zusammenhang eine mit psychologischen

¹⁷⁸ vgl. 5.4.2.1

¹⁷⁹ vgl. Abschnitt *Blutdruck, Puls und Atemfrequenz* dieses Kapitels

Parametern (wie etwa dem Wohlbefinden) kombinierte Betrachtungsweise von Interesse.

- * Für den Parameter *Karieshäufigkeit* ist vor allem eine längere Laufzeit der Untersuchung von großer Bedeutung.
- * Für die Untersuchung des *Lärmpegels* ist eine wesentlich größere Zahl von Messungen durchzuführen, um aussagekräftigere Durchschnittswerte bilden zu können.

8 Umweltrelevante Wirkungen des Einsatzes von Vollspektrumlampen und elektronischen Vorschaltgeräten

8.1 Kostenbetrachtungen

8.1.1 Verminderung des Energieverbrauchs

Leuchtstoffröhren, die mit einem elektronischen Vorschaltgerät¹⁸⁰ (EVG) betrieben werden, weisen im Vergleich zu Röhren mit einem konventionellen Vorschaltgerät (KVG) eine um bis zu 27% niedrigere Leistungsaufnahme auf. Durch den Betrieb von Leuchtstofflampen mit EVG wird eine Verminderung des Stromverbrauchs im Vergleich zur Verwendung von KVG erzielt, die sich in geringeren Kosten für die zum Betrieb benötigte Energie niederschlägt.

In dem speziellen Fall der untersuchten Schule liegt bei den mit EVG betriebenen Röhren eine um etwa 27% verringerte Leistungsaufnahme vor (vgl. *Tabelle 34*). Die Art der Röhren selbst (Vollspektrumlicht- oder herkömmliche Leuchtstoffröhren) sind in diesem Zusammenhang nicht Gegenstand der Untersuchung. Es wird davon ausgegangen, daß in beiden Leuchten¹⁸¹ dieselben Röhren vorhanden sind.

¹⁸⁰ vgl. *Elektronische Vorschaltgeräte*, Kap. 3.1.4.2

¹⁸¹ vgl. *Definition von Lampen* Kap. 3.1.4.1

Für die nachfolgenden Berechnungen ist nur die Art des Vorschaltgeräts (elektronisch oder konventionell), mit dem die Röhren betrieben werden, von Bedeutung.

	Leuchte 1	Leuchte 2
Vorschaltgerät	konventionell	elektronisch
Lebensdauer des Vorschaltgeräts (in Stunden)	50.000 - 80.000	50.000 - 80.000
Lampenlebensdauer ¹⁸² (in Stunden)	3.000 - 4.000	5.000 - 8.000
Leistungsaufnahme/Lichterzeugungseinheit (Röhre plus Vorschaltgerät) (in Watt)	75	55

Tabelle 34: Technische Kenndaten der beiden zum Kostenvergleich herangezogenen Leuchten; Quelle:
teilweise Angaben der Fa. Osram

Im folgenden wird eine Berechnung über die möglichen Kosteneinsparungen durch den Betrieb aller Leuchtstoffröhren der untersuchten Schule mit EVG durchgeführt. Die beiden Leuchtenarten (Leuchte 1 und Leuchte 2) aus Tabelle 34 werden verglichen. Die verwendete Anzahl an Leuchtstoffröhren von 230 Stück wurde vor Ort erhoben.

Es werden zwei Szenarien berechnet:

- 1) Einerseits wird eine Einschaltdauer von 1440 Stunden je Röhre und Schuljahr angenommen. Diese Stundenanzahl entspricht einem Schuljahr mit 180 Schultagen, an denen die Leuchtstoffröhren jeweils für 8 Stunden in Betrieb sind (eigene Berechnung).
- 2) Im anderen Fall wird von einer umfassenderen Nutzung der Klassenräume (etwa durch Nachmittags- und Abendkurse sowie die Nutzung in den Schulferien) über das ganze Jahr ausgegangen und somit eine Einschaltdauer von 3000 Stunden je Röhre festgelegt¹⁸³.

Durch das EVG kommt es zu einer um 20 Watt verminderten Leistungsaufnahme pro Lichterzeugungseinheit (Lampe plus Vorschaltgerät) gegenüber der Einheit mit KVG. Das ergibt¹⁸⁴ für

- * Fall 1 in 1440 Stunden eine Energieeinsparung pro Röhre von 28,8 kWh
für alle 230 Röhren von 6.624 kWh
und eine damit einhergehende Kosteneinsparung von 14.573 ATS pro Schuljahr.

¹⁸² Die Grundlagen bilden hier die Daten einer kalt-weißen Neonröhre.

¹⁸³ Dies entspricht einer Schätzung der Fa. Osram für die Einschaltdauer einer Röhre für den Zeitraum eines Jahres.

¹⁸⁴ Der zugrundgelegte Strompreis ist 2,2 ATS/kWh.

- * Fall 2 in 3000 Stunden eine Energieeinsparung pro Röhre von 60 kWh
für alle 230 Röhren von 13.800 kWh
und eine damit einhergehende Kosteneinsparung von 30.360 ATS pro Jahr.

Diese beiden Beispiele sollen vermitteln, in welcher Größenordnung sich die Einsparungen an Stromkosten im betrachteten Zeitraum durch den Betrieb der Leuchtstoffröhren mit elektronischen im Gegensatz zu herkömmlichen Vorschaltgeräten bewegen.

8.1.2 Wirtschaftlichkeitsberechnung des EVG-Einsatzes

Für die Kostenbetrachtungen sind aber nicht nur die Einsparungen an Stromkosten wichtig. Es kommt auch auf Überlegungen an, die Aufschluß darüber geben, wann die höheren Investitionskosten der elektronischen Vorschaltgeräte durch die Stromkostensparnisse kompensiert werden.

Diesmal werden zwei Doppelleuchten (also Leuchten mit jeweils zwei Röhren) verglichen. Wiederum ist eine der beiden mit einem elektronischen, die andere mit einem herkömmlichen Vorschaltgerät ausgerüstet.

Die restlichen Daten entsprechen dem vorhergehenden Beispiel in Fall 2: Die beiden Röhren mit EVG weisen gemeinsam eine Leistungsaufnahme von 110 Watt (2 x 55W) auf, jene mit KVG eine Leistungsaufnahme von 150 Watt (2 x 75W). Für beide wird eine Einschaltzeit von 3000 Stunden pro Jahr angenommen. Zusätzlich wird für eine der beiden Doppelleuchten noch der Leuchtenmehrpreis (ATS 1.000,- für das EVG¹⁸⁵) berücksichtigt, der aus der Ausstattung mit dem elektronischen Vorschaltgerät resultiert.

Die Stromkosten pro Jahr¹⁸⁶ betragen für den Betrieb der Lampe mit EVG ATS 726,- und für jene mit KVG ATS 990,-. Unter Berücksichtigung des Leuchtenmehrpreises kann man die Amortisationszeit der Variante mit EVG berechnen. Sie beträgt in diesem Fall 3,8 Jahre. Nach diesem Zeitraum sind die Mehrkosten des EVG kompensiert.

Unter Berücksichtigung der Mindestlebensdauer eines EVG (vgl. Tabelle 34) von 50.000 Stunden kann ein und dasselbe EVG bei einer Einschaltzeit von 3000 Stunden pro Jahr etwa 16 Jahre im Einsatz bleiben. Nachdem die Mehrkosten des EVG nach etwa 4 Jahren amortisiert sind, kommen in den verbleibenden 12 Jahren, in denen das EVG weiterverwendet werden kann, die Kosteneinsparungen durch den vermindernden Stromverbrauch voll zum Tragen. Für das vorhergehende Beispiel in Fall 2 bedeutet dies:

¹⁸⁵ Diese Angaben entsprechen dem durchschnittlichen Verkaufspreis.

¹⁸⁶ Wiederum auf Basis eines Strompreises von 2,2 ATS/kWh.

* Eine Einsparung pro Jahr (3000 h) durch Verwendung eines EVG von	30.360 ATS ¹⁸⁷
* und somit eine Einsparung durch Verwendung eines EVG für 12 Jahre von	364.320 ATS.

Dieses beachtliche Einsparungspotential, das die Kosteneffizienz des Einsatzes von EVG belegt, ergibt sich für eine - nämlich die untersuchte - Schule für den Zeitraum von 12 Jahren. Die Umlegung dieses Ergebnisses auf die Gesamtzahl der Schulen in Österreich macht den Umfang der möglichen Kosteneinsparungen durch die Verwendung von EVG und den sparsamen Umgang mit Energie deutlich.

Ein weiteres Kostenargument ist in der Verdoppelung der Lampenlebensdauer¹⁸⁸ durch ihren Betrieb mit einem EVG im Vergleich zum Betrieb mit KVG begründet. Folglich werden auch die Kosten für den Ersatz der Lampen, die in obigem Beispiel nicht berücksichtigt worden sind, vermindert und führen zu einer weiteren Kosteneinsparung im Zusammenhang mit dem Einsatz von EVG im Vergleich zu KVG.

Neben den Kostenargumenten darf man aber auch die Verbesserung der Beleuchtungsqualität durch den Einbau eines EVG¹⁸⁹ nicht vergessen.

In diesem Zusammenhang sollen auch die Vollspektrumlampen Erwähnung finden, die auf eine andere Weise ebenso zu einer bedeutenden Verbesserung der Beleuchtungsqualität beitragen¹⁹⁰. Vollspektrumlampen weisen, unabhängig vom eingesetzten Vorschaltgerät, im Vergleich zu kalt-weißen Leuchtstoffröhren eine höhere Lebensdauer auf, die durch den Einsatz von EVG weiter erhöht wird (vgl. Tabelle 35).

Vorschaltgerät	kalt-weiße Leuchtstoffröhre	Vollspektrum-Röhre
konventionell	3.000 - 4.000 h	6.000 h
elektronisch	5.000 - 8.000 h	12.000 h

Tabelle 35: Lampenlebensdauer in Stunden (h) von kalt-weißen Leuchtstoffröhren und Vollspektrum-Röhren in Abhängigkeit von der Art des verwendeten Vorschaltgeräts

Der höhere Anschaffungspreis einer Vollspektrumlampe wird durch die höhere Lebenserwartung im Vergleich zu einer herkömmlichen Leuchtstoffröhre kompensiert.

Für den Einsatz von EVG in Verbindung mit Vollspektrumlampen sprechen demnach sowohl Kosten- als auch Qualitätsargumente.

¹⁸⁷ vgl. Ergebnis des vorhergehenden Abschnitts

¹⁸⁸ vgl. „Lampenlebensdauer“ in Tabelle 34

¹⁸⁹ vgl. Kap. 3.1.4.2

¹⁹⁰ vgl. ebenda

8.2 Emissionsbetrachtungen

Für eine umfassende Betrachtung der Umwelteffekte von Leuchtstoffröhren mit elektronischen Vorschaltgeräten ist es sinnvoll, eine Ökobilanz oder Produktlinienanalyse durchzuführen, die sämtliche Umwelteffekte, die den Funktionen eines Produkts zugerechnet werden können, darstellen. Die Durchführung einer solchen Untersuchung für den vorliegenden Sachverhalt ist jedoch nicht Zielstellung dieser Arbeit.

Eine Ökobilanz für drei verschiedene Lampenarten (Glüh-, Leuchtstoff- und Energiesparlampe)¹⁹¹, in der die Emissionen von der Rohstoffgewinnung über die Fertigung bis zur Entsorgung und dem Betrieb der Lampen berücksichtigt werden, kommt zu dem Ergebnis, daß die Umweltauswirkungen fast vollständig durch den Stromverbrauch während des Betriebes der Lampen bestimmt wird. Ein sparsamer Energieverbrauch und Umweltverträglichkeit liegen also dicht beieinander¹⁹².

Dieses Ergebnis spricht wiederum für den Einsatz von EVG, die durch ihre geringere Leistungsaufnahme zu einer Verminderung des Energieverbrauchs führen.

Auch die längere Lampenlebensdauer durch den Einsatz von EVG im Vergleich zu KVG und die zusätzlich höhere Lampenlebensdauer von Vollspektrumlampen führen zu Auswirkungen auf die Emissionen, die für alle Teilbereiche der Produktion und der Entsorgung der Lampen anfallen. Die längere Haltbarkeit der Lampen führt zu einer verminderten Auswechslungsrate. Infolgedessen müssen weniger Lampen produziert und entsorgt werden, was zu einer Verminderung der Emissionen führt.

8.3 Abfallbetrachtungen

Ein weiterer spezieller Aspekt der umweltrelevanten Auswirkungen von Leuchtstoffröhren mit EVG ist das Abfallaufkommen.

In Österreich werden derzeit jährlich rund 6 - 10 Millionen Stück Leuchtstoffröhren verbraucht. Eine Röhre hat durchschnittlich ein Gewicht von 220 g. Die Gesamtmasse des Abfalls an Leuchtstoffröhren beträgt 1.200 t pro Jahr. Der Anteil der Leuchtstoffröhren an allen gefährlichen Abfällen beläuft sich auf etwa 0,15%¹⁹³.

¹⁹¹ Rouweler, G., Lichterzeugung und die Umwelt, Gemeinschaftstagungsbericht der Lichttechnischen Gesellschaften (A, CH, D, NL), Licht '90, Rotterdam, 1990, S. 25-30

¹⁹² ebenda, S. 26

¹⁹³ Bundesministerium für Jugend, Familie und Umweltschutz (Hrsg.), Bundes-Abfallwirtschaftsplan. Bundesabfallbericht, Wien, 1998

Leuchtstoffröhren zählen zu den gefährlichen Abfällen. Die umweltrelevanten Stoffe, wie z.B. Quecksilber, Antimon, Arsen und Blei, sind vor allem in den Leuchtstoffen enthalten, die etwa 2% des Lampengewichts ausmachen. Das Gefährdungspotential dieser Inhaltsstoffe für Mensch, Fauna und Flora ist der Grund für die spezielle Behandlung der Röhren nach ihrer Entsorgung.

Im Rahmen dieser speziellen Behandlung werden die Röhren zerlegt und ihre einzelnen Bestandteile je nach Weiterverwendungsmöglichkeit sortiert. Technisch ist es bereits möglich, die Leuchtstoffe wieder zurückzugewinnen, doch spricht derzeit noch der damit verbundene Aufwand gegen den Einsatz dieser Methode¹⁹⁴.

Elektronische Vorschaltgeräte und ebenso der Einsatz von Vollspektrumlampen können einen Beitrag zur Reduktion des Abfallaufkommens leisten. Die etwa doppelt so hohe Lebenserwartung von Leuchtstoffröhren mit EVG im Vergleich zu solchen mit KVG und die ebenso höhere Lebenserwartung von Vollspektrumlampen im Vergleich zu herkömmlichen Lampen führen dies deutlich vor Augen. Diese Tatsache wird keinen großen Einfluß auf den ohnehin eher vernachlässigbaren mengenmäßigen Anteil der Leuchtstoffröhren am gesamten Abfallaufkommen in Österreich haben. Doch aufgrund der Gefährlichkeit der Inhaltsstoffe in den Röhren ist auch dieser mengenmäßig kleine Beitrag von Bedeutung.

Giftige Stoffe können bei der Behandlung des Abfalls in den Boden und andere Umweltmedien gelangen und werden in den Stoffkreislauf integriert. Dadurch erfahren sie eine ungeheure Ausbreitung und können in den einzelnen Bereichen des Kreislaufes nachhaltige Schäden nach sich ziehen. Eine Reduktion von auch nur geringen Mengen an umweltgefährdenden Stoffen ist daher erstrebenswert.

9 Zusammenfassung und Schlußbemerkungen

„Natural light, involving the whole body, is a vital element like water and air.“

Hollwich¹⁹⁵ macht mit diesem Satz deutlich, wie wichtig Licht für den Menschen ist. Seine Gesundheit und sein Wohlbefinden sind in großem Ausmaß davon abhängig.

Der Mensch hat sich unter der Sonne entwickelt. Sein Tagesablauf war bis in technisierte Zeitalter hinein nach dem Tageslicht eingeteilt. Mit der Erfindung des künstlichen Lichts glaubte der Mensch eine Zeit lang, von der Sonne unabhängig zu sein.

¹⁹⁴ Umweltbundesamt (Hrsg.), Vermeidungs- und Verwertungskonzepte. Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Klagenfurt, 1995

¹⁹⁵ Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, 1979, S. 97

Ein Großteil des Lebens in den heutigen Industriegesellschaften spielt sich unter künstlichem Licht ab. Die Erfindung des Kunstlichts hat den Menschen Vorteile wie die künstliche Verlängerung des Tages oder die Leistungssteigerung durch eine erhöhte Beleuchtungsstärke gebracht. Über Jahre hinweg wurde gelehnt, daß es einen Unterschied zwischen Sonnenlicht und künstlichem Licht gibt. Man war der Meinung, natürliches durch künstliches Licht ersetzen zu können. Sonnenlicht wurde in die Planung von Gebäuden lange Zeit nicht miteinbezogen. Ein krasses Ergebnis dieser Ansichtsweise ist etwa der Bau von Schulen ohne Fenster¹⁹⁶.

In letzter Zeit werden aber immer häufiger die negativen Wirkungen bekannt, welche die Verwendung von künstlichem Licht nach sich zieht. Sie reichen von Müdigkeit und Kopfschmerzen bis zu ernsthaften Störungen des Gleichgewichts im menschlichen Organismus. So wird uns die Bedeutung des Faktors Licht und der Unterscheidung zwischen künstlichem Licht und natürlichem Licht immer deutlicher vor Augen geführt.

Der Mensch hat sich in seiner Entwicklung vollkommen an das natürliche Tageslicht angepaßt. Aus diesen Gründen sollte künstliches Licht nur als Ergänzung für das Tageslicht und nicht als dessen gleichwertiges Substitut angesehen werden.

Vollspektrumlicht stellt hier eine Möglichkeit dar, positive Wirkungen des Sonnenlichts mit den Vorzügen des künstlichen Lichts zu vereinen.

Licht ist aufgrund seiner Bedeutung für die Gesundheit ein wichtiger Faktor bei der Gestaltung der menschlichen Lebensräume. Im Sinne der Gesundheitsförderung¹⁹⁷ ist diesem Aspekt besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Im speziellen spielt die Art der Beleuchtung am Arbeitsplatz eine bedeutende Rolle für die Aufnahmefähigkeit und Konzentration der arbeitenden Personen. Ungünstige Beleuchtungsbedingungen wirken sich negativ auf Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit aus.

Für Schulen ist deshalb eine den Bedürfnissen der Schüler angepaßte Beleuchtung von großer Bedeutung. Die Umgebung soll der Lernsituation, in der Konzentration und Aufnahmefähigkeit verlangt werden, förderlich sein. Eine gute Beleuchtung beeinflußt auch die Qualität der Lehre positiv.

Für die Beleuchtung von Innenräumen gibt es offiziell festgelegte Anforderungen, die auch Richtwerte für bestimmte Sehauflagen beinhalten¹⁹⁸. Die Planung von Arbeitsräumen soll auf jeden Fall individuell und auf die Bedürfnisse der beteiligten Personen abgestimmt erfolgen.

¹⁹⁶ Hollwich, F., Der Einfluß des Lichtes über das Auge auf den Stoffwechsel und die Hormone, 1989

¹⁹⁷ vgl. Kap. 2

¹⁹⁸ Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), Künstliche Beleuchtung von Innenräumen, ÖNORM O 1040, 1984, S. 20ff

Der Mensch ist ein Doppelwesen („dual being“¹⁹⁹). Er gehört sowohl der Kultur als auch der Natur an. Oft stehen jedoch die kulturellen in Konflikt mit den natürlichen Bedürfnissen. Dieser Zwiespalt ist auch an den Entwicklungen und Lösungsstrategien des heutigen Gesundheitswesens abzulesen, das durch eine Vorherrschaft der kurativen, auf die Behandlung von Krankheiten ausgerichtete Medizin gekennzeichnet ist:

Lange Zeit wurde der Begriff gesundheitlicher Fortschritt gleichgesetzt mit medizinischem Fortschritt. Es herrschte die Ansicht, daß die medizinische Versorgung der wichtigste und entscheidende Faktor für Gesundheit und Lebenserwartung sei. Doch in den siebziger Jahren begannen die „Grenzen des Wachstums“ deutlich zu werden. Es zeigte sich, daß Inhalt und Qualität des bisherigen industriellen Wachstums die Untergrabung der natürlichen Lebensgrundlagen des Planeten beinhalteten.

Medizin, Prävention und Gesundheitsförderung stellen die gesundheitsbezogenen Ausdrucksweisen der jeweils herrschenden Mensch-Natur-Beziehung dar, die in der heutigen Zeit von einer naturwissenschaftlich-technischen Sichtweise geprägt ist.

Die Selbstverständlichkeit und das enorme Maß an Exklusivität, in dem die Biomedizin für die Bearbeitung der Fragen von Krankheit und Gesundheit als „zuständig“ angesehen wird, ist Ausdruck des industriegeellschaftlichen Rationalismus²⁰⁰.

Die Erkenntnisse des biomedizinischen Paradigmas wurzeln vielfach in der eigentlich ingenieurwissenschaftlichen Annahme, der menschliche Organismus funktioniere wie eine Maschine. Demnach wären Krankheiten mechanische Schäden, die durch chemische oder physische Eingriffe in die einzelnen Organe oder Moleküle behebbar sind. Dieses mechanistische Menschenbild ist unvollständig. Es verleitet zur Unterschätzung der Möglichkeiten, die menschliche Gesundheit durch Interventionen in die soziale und physische Umwelt oder durch interaktionsintensive Leistungen zu schützen und zu fördern²⁰¹.

Die Menschheit muß sich bei der Erarbeitung ihrer Lebensvoraussetzungen in einer grundsätzlich anderen Weise zur Natur in Verhältnis setzen. Der Mensch muß erkennen, daß er ein Naturwesen ist.

Die unterschiedlichen Bereiche, die von dem in dieser Arbeit angesprochenen Thema „Licht“ berührt werden, führen die weitreichende Vernetzung der Lebensbedingungen und Tätigkeiten des Menschen vor Augen. Eine umfassende Sicht der Dinge ist deshalb für ein gesundes Weiterbestehen der Menschheit von essentieller Bedeutung.

¹⁹⁹ Hollwich, F., The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal, 1979, S. 96

²⁰⁰ Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften, 1994, S. 29ff

²⁰¹ Badura, B., Feuerstein, G., Systemgestaltung im Gesundheitswesen, 1994, S. 15

Literaturverzeichnis

- Badura, B., Feuerstein, G., *Systemgestaltung im Gesundheitswesen. Zur Versorgungskrise der hochtechnisierten Medizin und den Möglichkeiten der Bewältigung*, Weinheim; München: Juventa-Verlag, 1994.
- Barolin, G. S., *Unser Gesundheitssystem auf dem Prüfstand*, Wien; München [u.a.]: Wilhelm Maudrich, 1991.
- Bauer, P., *Bedarfsgerechte Gesundheitsversorgung in Österreich. Zur intramuralen und extramuralen Vernetzung von gemeindenahen Pflegesystemen*, Linz: Universitätsverlag Rudolf Trauner, 1996.
- Becker-Casademont, R., *Phototherapie*, Physikalische Medizin, Vol. 4 (Elektro- und Lichttherapie), 1988, S. 147-154.
- Böcker, W., Künstliche Beleuchtung: *Ergonomisch und energiesparend*, Schriftenreihe: Humanisierung des Arbeitslebens, Band 15, Frankfurt, New York: Campus Verlag, 1981.
- Böhm-Bawerk, E., *Kapital und Kapitalzins*, 4. Aufl., Bd. 2, Stuttgart, 1961.
- Borgers, D., Primärprävention durch biotechnischen Eingriff versus Gesundheitserziehung: Das Beispiel der Kariesprävention durch Fluoridierung; in: Rosenbrock, R., Kühn, H. et al., *Präventionspolitik. Gesellschaftliche Strategien der Gesundheitssicherung*, Berlin: Edition Sigma, 1994, S. 83-95.
- Bortz, J., *Statistik für Sozialwissenschaftler*, Berlin, Heidelberg [u.a.]: Springer-Verlag, 1993.
- Brandmayer, E., Köhler, B., *Licht schenkt Leben*, Ritterhude: Fit fürs Leben Verlag, 1997.
- Brennecke, R., Schelp, R., *Sozialmedizin*, Stuttgart: Enke Verlag, 1993.
- Brösskamp-Stone, U., Kickbusch, I. et al., Gesundheitsförderung, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al., *Das Public-Health Buch. Gesundheit und Gesundheitswesen*, München; Wien [u.a.]: Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1998, S. 141-149.
- Brosius, G., Brosius, F., *SPSS. Base System und Professional Statistics*, Bonn; Albany [u.a.]: International Thomson Publishing, 1995.

- Bundesministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales (Hrsg.), *Das Gesundheitswesen in Österreich*, Wien, Juli 1998.
- Bundesministerium für Gesundheit, Sport und Konsumentenschutz (Hrsg.), *Gesundheitsbericht an den Nationalrat. Berichtszeitraum 1989-1992*, Wien, 1994.
- Bundesministerium für Jugend, Familie und Umweltschutz (Hrsg.), *Bundes-Abfallwirtschaftsplan*, Bundesabfallbericht, Wien, 1998.
- CDC - U.S. Centers for Disease Control, *Ten Leading Causes of Death in the United States*, Atlanta, 1994.
- Cundiff, D. E., McCarthy, M. E., *The Right Medicine. How to Make Health Care Reform Work Today*, Totowa: Humana Press Inc., 1994.
- Dür, W., Pelikan, J. M. (Hrsg.), *Qualität der Gesundheitsförderung. Ansätze und Beispiele zur Qualitätsentwicklung und Evaluation*, Wien: Facultas Universitätsverlag, 1998.
- Falkenbach, A., *Sonne und Mensch. Nutzen und Risiko ultravioletter Strahlung*, Hamburg: Verlag Dr. Kovac, 1995.
- Fröschl, N., *Einfluß von Licht auf den menschlichen Organismus unter besonderer Berücksichtigung der Konzentration*, Diplomarbeit, Universität Wien, 1990.
- Fuchs, V. R., *The Future of Health Policy*, Cambridge; Massachusetts [u.a.]: Harvard University Press, 1993.
- Greiner-Schuster, E., *Die Schatten der Kunstlichtwelt*, ÖKO-Test Magazin, 3/1990, S. 40-47.
- Gutzwiller, F., Jeanneret, O. (Hrsg.), *Sozial- und Präventivmedizin. Public Health*, Bern; Göttingen [u.a.]: Huber, 1996.
- Hargreaves, J. A., Thompson, G. W., *Ultraviolet Light and Dental Caries in Children*, Caries Research, Vol. 23, 1989, S. 389-392.
- Harmon, D. B., *The Coordinated Classroom*, Grand Rapids/Michigan, 1951.
- Hartl, S., *Licht und Mensch*, Diplomarbeit, Laxenburg, 1990.
- Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger (Hrsg.), *Handbuch der österreichischen Sozialversicherung*, Wien, 1997.

- Hauptverband der österreichischen Sozialversicherungsträger (Hrsg.), *Statistisches Handbuch der österreichischen Sozialversicherung*, Wien, 1997.
- Hecht, R., Musgrave, P., *Ein Überdenken der staatlichen Rolle im Gesundheitssektor, Finanzierung und Entwicklung*, September 1993, S. 6-9.
- Herder-Dorneich, P., *Ökonomische Theorie des Gesundheitswesens*, Baden-Baden: Nomos Verlagsgesellschaft, 1994.
- Höfling, G., *Farbänderungen des Tageslichts im Raum*, Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, Vol. 171, 1977, S. 966-973.
- Hollwich, F., *The Influence of Ocular Light Perception on Metabolism in Man and Animal*, New York; Heidelberg [u.a.]: Springer-Verlag, 1979.
- Hollwich, F., *Biologische Wirkungen des Lichts über das Auge auf Stoffwechsel und Endokrinium*, DOZ, Nr. 8, August 1981, S. 6-14.
- Hollwich, F., Dickhues, B., *Der Einfluß des Lichtes über das Auge auf den Stoffwechsel und die Hormone*, Klinische Monatsblätter für Augenheilkunde, 195(5), November 1989, S. 284-290.
- Hyvärinen, L., *Lea-Screener*, Handbuch zu Nah-, Fern- und Kontrastsehtest, Lighthouse LowVision Products, USA, 1992.
- John, J., Zur Nachfrage nach Gesundheitsleistungen aus ökonomischer Sicht, in: Weitkunat, R., Haisch, J. et al. (Hrsg), *Public Health und Gesundheitspsychologie*, Bern; Göttingen [u.a.]: Huber, 1997, S. 437-448.
- Kaufmann, H. (Hrsg.), *Strabismus*, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986.
- Kern, S., *Die Wirkung von Vollspektrum-Licht („True-Lite“) gegenüber herkömmlicher Beleuchtung auf psychische Parameter von Schülern*, Diplomarbeit, Institut für Psychologie, Karl-Franzens-Universität Graz, August 1998.
- Kime, Z. R., *Sonnenlicht und Gesundheit*, Ritterhude: Waldhausen-Verlag, 1995.
- Kobelt-Nguyen, G., *Wegweiser zur Gesundheitsökonomie. Ökonomische Erhebungen in der Medizin*, Wien: Sandoz, 1996.

- Kühn, H., Rosenbrock, R., Präventionspolitik und Gesundheitswissenschaften. Eine Problemkizze, in: Rosenbrock, R., Kühn, H. et al. (Hrsg.), *Präventionspolitik. Gesellschaftliche Strategien der Gesundheitssicherung*, Berlin: Edition Sigma, 1994, S. 29-53.
- Laaser, U., Prävention. Gesundheitserhaltung und Krankheitsverhütung, in: Viefhues, H. (Hrsg.), *Lehrbuch Sozialmedizin*, Stuttgart; Berlin [u.a.]: Verlag W. Kohlhammer, 1981, S. 115-130.
- Laaser, U., Roccella, E. J. et al. (Hrsg.), *Costs and Benefits in Health Care Prevention. An International Approach to Priorities in Medicine*, Proceedings of a Conference on the Analysis of Costs and Benefits in Health Care, Bielefeld, June 17th and 18th 1988, Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer-Verlag, 1990.
- Leidl, R., Der Effizienz auf der Spur: Eine Einführung in die ökonomische Evaluation, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al. (Hrsg.), *Das Public-Health Buch. Gesundheit und Gesundheitswesen*, München; Wien [u.a.]: Baltimore: Urban und Schwarzenberg, 1998, S. 346-369.
- Liberman, J., *Die heilende Kraft des Lichts. Der Einfluß des Lichts auf Psyche und Körper*, München: Serie Piper, 1996.
- London, W. P., *Full-Spectrum Classroom Light and Sickness in Pupils*, The Lancet, November 1987, S. 1205-1206.
- Maynard, A., The Relevance of Health Economics to Health Promotion, in: Badura, B., Kickbusch, I. (eds.), *Health Promotion Research. Towards a New Social Epidemiology*, WHO Regional Publications, European Series, No. 37, Copenhagen, 1991, S. 29-54.
- McDonagh, A. F., *Light Effects on Transport and Excretion of Bilirubin in Newborns*, Annals of the New York Academy of Sciences, Vol. 453, 1985, S. 65-72.
- Münnich, F. E., Ökonomische Aspekte der Prävention, in: Vogel, H. R., *Prävention und deren ökonomische Effizienz*, Stuttgart; New York: Gustav Fischer Verlag, 1989, S. 60-65.
- N. N., *Lauter Lärm*, Umwelterziehung, Zeitschrift der ARGE Umwelterziehung im Umweltdachverband ÖGNU, Nr. 2/98, S. 8-9.
- Österreichisches Normungsinstitut (Hrsg.), *Künstliche Beleuchtung von Innenräumen. Begriffsbestimmungen und allgemeine Anforderungen*, ÖNORM O 1040, April 1984.

Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung (Hrsg.), *Die Wirkungen des Lärms auf den Menschen. Beurteilungshilfen für den Arzt*, ÖAL-Richtlinien, Nr. 6/18, November 1991.

Österreichisches Statistisches Zentralamt (Hrsg.), *Statistisches Jahrbuch für die Republik Österreich*, Wien, 1996.

Ott, J., *The Eyes' Dual Function - Part II*, Eye-Ear-Nose-Throat-Monthly, Vol. 53(8), August 1974, S. 309-316.

Ott, J., *Color and Light. Their Effects on Plants, Animals and People*, Teil 1, International Journal of Biosocial Research, Vol. 7, 1985.

Ott, J., *Light, Radiation and You. How to Stay Healthy*, Greenwich, Connecticut: Devin-Adair Publishers, 1990.

Rabl, A., *Wirkungen eines multimodalen psychologischen „Augenübungsprogramms“ auf die Sehleistung bei Patienten mit Refraktionsanomalien*, Diplomarbeit, Karl-Franzens-Universität Graz, März 1998.

Ronge, H. E., *Ultraviolet Irradiation with Artificial Illumination*, Acta Physiologica Scandinavica, Vol. 15 (suppl 49), S. 1ff.

Rouweler, G., *Lichterzeugung und die Umwelt*, Gemeinschaftstagungsbericht der Licht-technischen Gesellschaften (A, CH, D, NL), Licht '90, Rotterdam, 1990, S. 25-30.

Schwartz, F. W., Walter, U. et al., Prävention, in: Schwartz, F. W., Badura, B. et al. (Hrsg.), *Das Public-Health Buch. Gesundheit und Gesundheitswesen*, München; Wien [u.a.]: Urban und Schwarzenberg, 1998, S. 151-170.

Sigurdsson, V., Knulst, A.C. et al., *Phototherapy of Acne Vulgaris with Visible Light*, Dermatology, Vol. 194, 1997, S. 256-260.

Technisches Datenblatt, *Der Stoff der leuchtet*, Fa. True-Lite (ohne nähere Angaben).

Umweltbundesamt (Hrsg.), *Vermeidungs- und Verwertungskonzepte*, Materialien zum Bundes-Abfallwirtschaftsplan, Klagenfurt, 1995.

Velimirovic, B., *Sozialmedizin*, Skriptum, Universität Graz, 1987.

von der Schulenburg, J. M., Fünf Thesen zur Kostenexplosion im Gesundheitswesen, in: Oberender, P. (Hrsg.), *Neuorientierung im Gesundheitswesen*, Bayreuth: Verlag P.C.O., 1988, S. 1-15.

- Vogel, H. R., *Prävention und deren ökonomische Effizienz*, Stuttgart; New York: Gustav Fischer Verlag, 1989.
- Warnke, U., *Der Mensch und die dritte Kraft*, Saarbrücken: Popular Academic Verlags-Gesellschaft, 1997.
- Weltbank, *Weltentwicklungsbericht*, Washington, 1993.
- Weltgesundheitsorganisation, *Gesundheit für das Jahr 2000*, Genf: WHO, 1976.
- Weltgesundheitsorganisation, *Ottawa-Charta zur Gesundheitsförderung*, WHO, 1986.
- Weratschnig, A., *Tageslicht und Sonnenenergie*, Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 1993.
- Wernecke, K. D., *Angewandte Statistik für die Praxis*, Bonn; Paris [u.a.]: Addison-Wesley, 1995.
- Wohlfarth, H. und Wohlfarth, S. C., *The Effect of Color-Psychodynamic Environmental Modification upon Psychophysiological and Behavioral Reactions of Severely Handicapped Children*, International Journal of Biosocial Research, 3, Nr. 1, 1982, S. 10-38.
- Wohlfarth, H., *Color and Light Effects on Students' Achievement, Behavior and Physiology*, Alberta Education, Faculty of Extension, University of Alberta, 1986.
- Wurtman, R. J., Neer, R. M., *Good light and bad*, The New England Journal of Medicine, Vol. 282, February 1970, S.394-395.
- Zamkova, M. A., Krivitskaya, E. I., *Auswirkungen auf die Lernfähigkeit von Schulkindern bei Bestrahlung mit ultravioletten Leuchtstofflampen* (Effect of Irradiation by Ultra-violet Erythema Lamps on the Working Ability of School Children), Gigiena in Sanitariia, Band 31, 1966, S. 41-44.

ANHANG

Abbildungen der Spektren der unterschiedlichen Lichtarten	1
Messungen der Beleuchtungsstärke in den Klassen	3
Abbildungen der Augentests	4
Abbildung des Schallpegelmessers	7
Sonnenscheindauer im untersuchten Zeitraum	8

Abbildungen der Spektren der unterschiedlichen Lichtarten

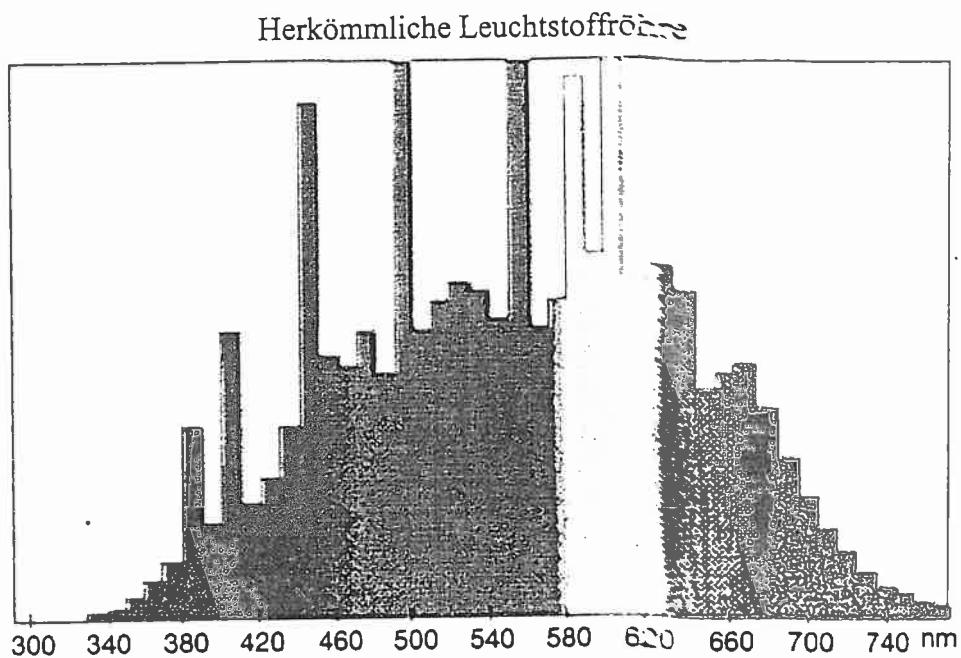


Abbildung 1: Die spektrale Zusammensetzung des Lichts einer herkömmlichen Leuchtstoffröhre (Neutralweiß)¹

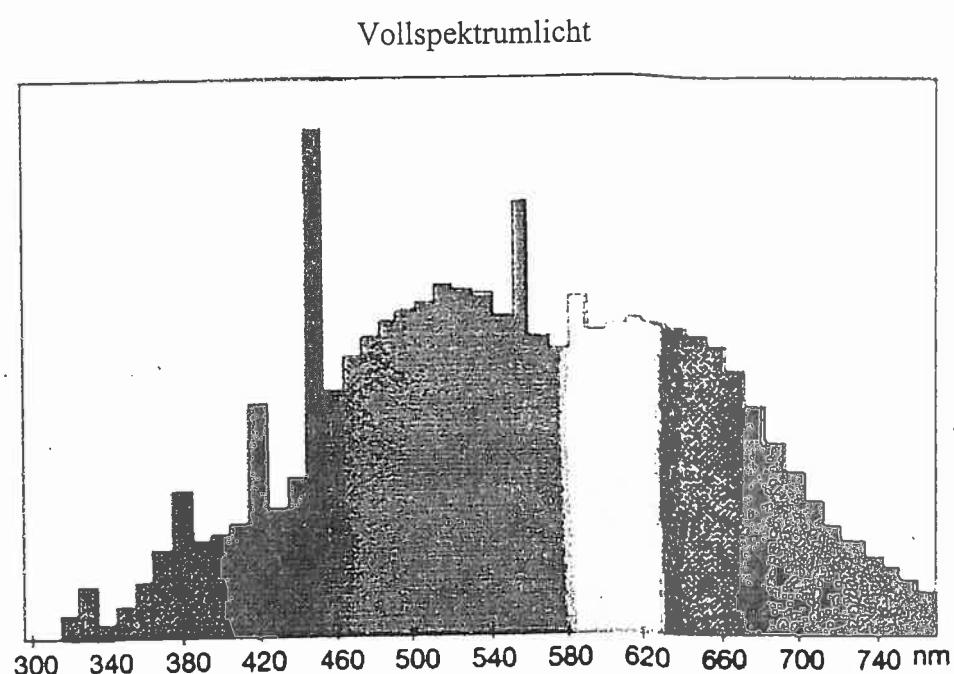


Abbildung 2: Die spektrale Zusammensetzung von Vollspektrumlicht¹

Natürliches Tageslicht (Sonnenlicht)

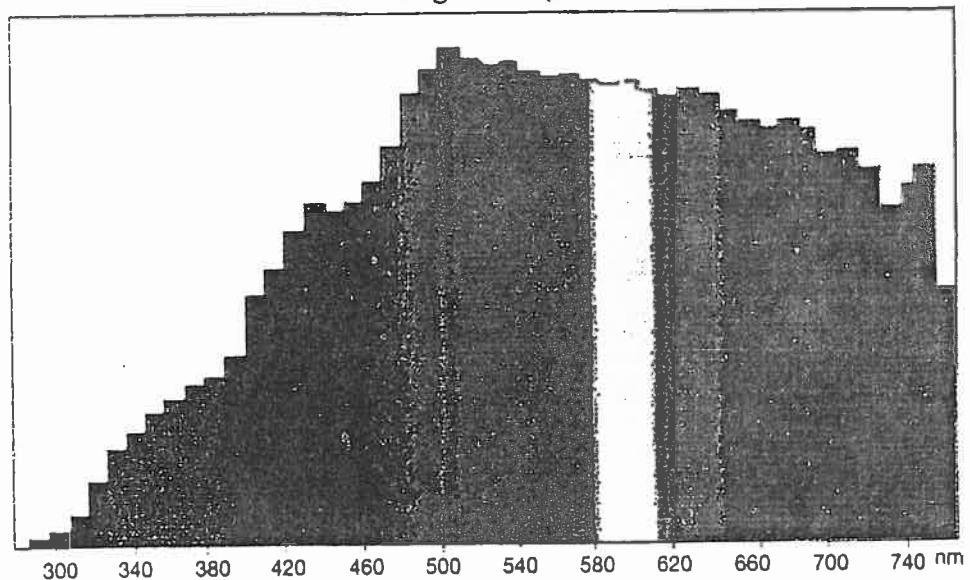


Abbildung 3: Die spektrale Zusammensetzung des natürlichen Tageslichts¹

¹ Quelle: DUROTEST, True-Lite, Produktinformation (ohne nähere Angaben)

Messungen der Beleuchtungsstärke in den Klassen

Um die im Vergleich zum Rest der Schule veränderte Beleuchtungssituation in den beiden Versuchsklassen darzustellen, wurden die Beleuchtungsstärken² in verschiedenen Klassen gemessen: Einerseits in den beiden Versuchsklassen und andererseits in zwei Klassen, in denen noch die alten Leuchten montiert waren. Mit einem Luxmeter wurde an jedem Arbeitsplatz eine Messung durchgeführt. Der Zeitpunkt der Messung war so gewählt, daß der Tageslichteinfluß völlig ausgeschaltet war.

Aus den ermittelten Einzelwerten wurde pro Klasse ein Mittelwert gebildet:

	Klasse	Erhobener Mittelwert (in lx)
<i>alte Beleuchtungssituation</i>	1b	276,17
	3b	248,1
<i>neue Beleuchtungssituation</i>	2a (herkömmliche Leuchtstoffröhren)	570,39
	2b (Vollspektrumlicht)	448,85

Tabelle 1: Mittelwerte der gemessenen Beleuchtungsstärken in verschiedenen Klassen

In den beiden Versuchsklassen erhielt man die Mittelwerte 570,4 lx (herkömmliche Leuchtstoffröhren) bzw. 448,9 lx (Vollspektrumlicht) als Ergebnis. Die beiden anderen Klassen wiesen Werte von 276,2 lx bzw. 248,1 lx auf. Diese Zahlen machen den Unterschied deutlich, der zwischen den verschiedenen Beleuchtungssituationen besteht. Diese Verbesserung der Beleuchtungssituation wurde großteils durch die Ausstattung mit geeigneten Leuchten (Reflektoren,) erzielt. Die Werte der „alten“ Beleuchtungssituation unterschreiten sogar die Vorgaben der Richtwerte für Sehauflagen laut ÖNORM³, die für Klassenzimmer eine Nennbeleuchtungsstärke⁴ von 300 lx vorsehen.

² Die *Beleuchtungsstärke* wird in der Einheit Lux (lx) gemessen und entspricht dem Verhältnis des auf eine Fläche fallenden Lichtstroms zu der Fläche (Lichtstrom/Fläche; 1 lx = 1 lm/1 m²). Sie ist die gebräuchlichste Größe zur Festlegung des Lichtbedarfs.

³ Künstliche Beleuchtung von Innenräumen, ÖNORM O 1040, 1984, S.28.

⁴ Die *Nennbeleuchtungsstärke* wird für die Angabe von Richtwerten für Sehauflagen eingesetzt. Sie entspricht dem Nennwert der mittleren Beleuchtungsstärke (= arithmetisches Mittel der Beleuchtungsstärken) im eingerichteten Raum. Sie bezieht sich auf die Ebene, in der sich wesentliche Sehobjekt befinden. Das ist im allgemeinen die horizontale Arbeitsfläche in 0,85 m Höhe über dem Fußboden. Quelle: ÖNORM O 1040, Künstliche Beleuchtung von Innenräumen, 1984, S. 3

Abbildungen der Augentests

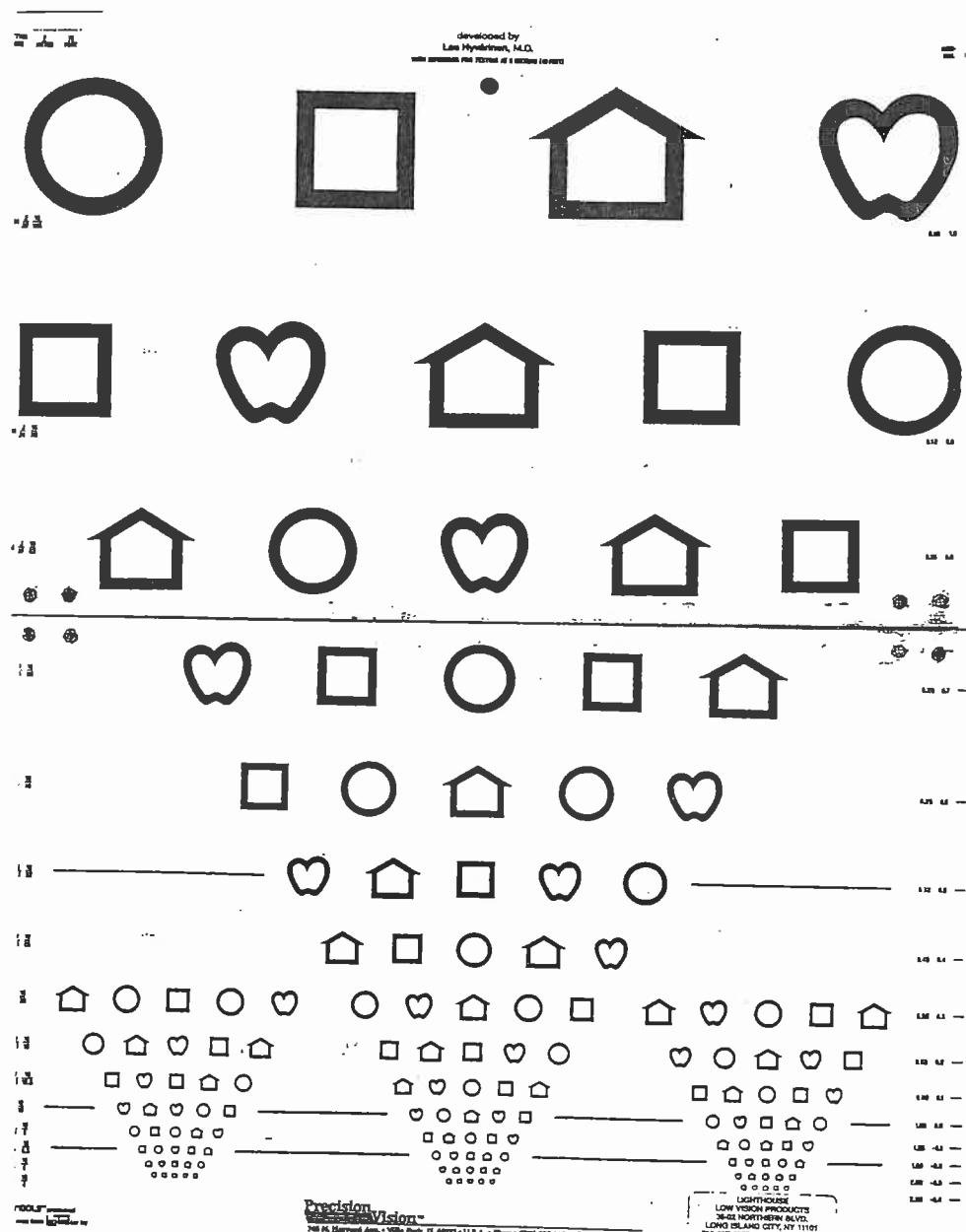


Abbildung 4: Fernsehtest; Quelle: Lea-Screener, Distance Vision Testing; entwickelt von Lea Hyvärinen, publiziert von Lighthouse Low Vision Products, USA

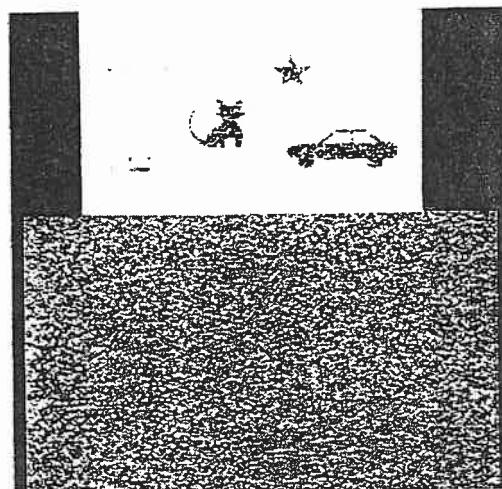


Abbildung 5: Der Stereosehstest nach Lang; Quelle: Kaufmann, H. (Hrsg.), Strabismus, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986, S. 343

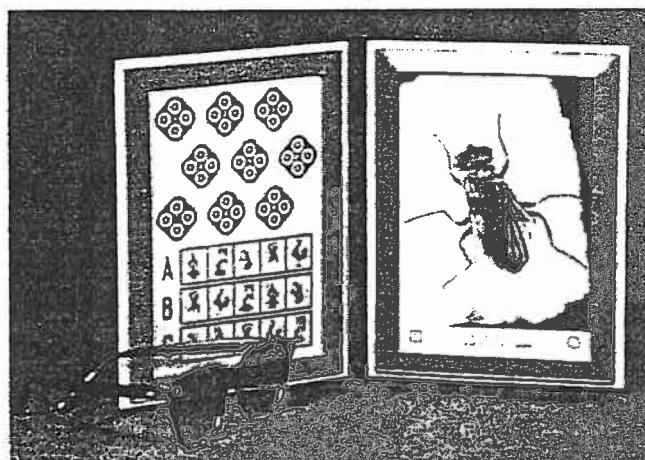


Abbildung 6: Der Titmus-Stereosehstest; Quelle: Kaufmann, H. (Hrsg.), Strabismus, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986, S. 349

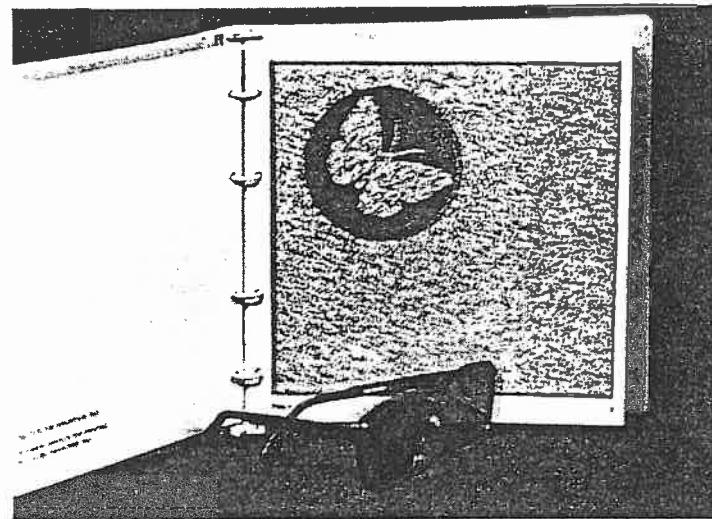


Abbildung 7: Der TNO-Test; Quelle: Kaufmann, H. (Hrsg.), Strabismus, Stuttgart: Ferdinand Enke Verlag, 1986, S. 346

Abbildung des Schallpegelmessers

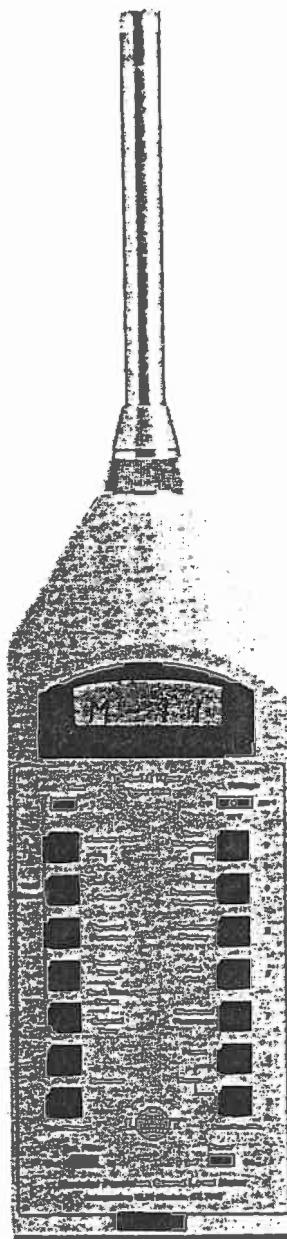


Abbildung 8: Schallpegelmesser Typ 2231 der Firma Brüel & Kjaer; Quelle: Handbuch der Firma Brüel & Kjaer

Sonnenscheindauer im untersuchten Zeitraum

Monat	aktuelle Monats- summe	40-jährige monatliche Sonnenscheindauer	Verhältnis der beiden Werte in Prozent ("aktuell/40-jährig")
	1997		
12	62,7	61	103 %
	1998		
01	133,3	75	178 %
02	192,0	107	179 %
03	185,6	151	123 %
04	165,0	178	93 %
05	226,6	210	108 %
06	216,9	234	93 %

Tabelle 2: Die monatliche Sonnenscheindauer im untersuchten Zeitraum und die 40-jährigen monatlichen Durchschnittswerte in Graz, Werte in Stunden; Quelle: Institut für Meteorologie und Geophysik, Karl-Franzens-Universität Graz