

DIE VISUELLE INTERPRETATION VON FERNERKUNDUNGSDATEN

Von der Fakultät für Geowissenschaften, Geotechnik und Bergbau

der TU Bergakademie Freiberg

angenommene

Habilitationsschrift

zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur habitatus

Dr.-Ing. habil.

vorgelegt

von Dr.-Ing. Ralf Ulrich Donner

geboren am 29. August 1959 in Magdeburg

eingereicht am 31.1.2007

Gutachter:

Univ.-Prof. Dr. techn. habil. Elmar Csaplovics, TU Dresden

Univ.-Prof. Dr. techn. habil. Dr. h. c. mult. Ryszard Tadeusiewicz, AGH Krakow

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dipl.-Geol. Rüdiger Wittenburg, TU BA Freiberg

Tag der Verleihung: 8. Juli 2008

DIE VISUELLE INTERPRETATION VON FERNERKUNDUNGSDATEN

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Einleitung	4
1.1 Problemstellung	4
1.2 Visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung in der Literatur	4
1.3 Die Interpretation von Karten und kartenähnlichen Abbildungen	6
1.4 Auswertung.....	7
1.5 Zielstellung	9
1.6 Gegenstand.....	9
1.7 Globale Charakterisierung des Problemumfeldes.....	10
1.8 Relevanz der Aufgabenstellung	11
1.9 Welche Fragen werden beantwortet?.....	12
2 Lösungsweg	14
2.1 Paradigmenwechsel	14
2.2 Zur Methode	20
2.3 Gedankengang der Abhandlung.....	21
2.4 Notwendigkeit erkenntnistheoretischer Reflexionen	21
3 Aspekte der Wahrnehmung	23
3.1 Sinnes-Erkennen – der Beitrag des Denkens	25
3.2 Die Gesamtwahrnehmung	32
3.3 Sinnes-Empfinden	35
3.4 Wahrnehmung von Bewegung	37
3.5 Wahrnehmung von Richtungen	38
3.6 Sogenannte Sinnestäuschungen.....	40
3.7 Gedanken als Wahrnehmungen	42
3.8 Zusammenfassung.....	48
3.9 Eigenschaften.....	48
4 Erkenntnis durch Analyse und Synthese	50
4.1 Wahrnehmung als Prozess der Gliederung des Ganzen in Teile (Analyse).....	50
4.1.1 Qualität und Quantität im Prozess der Zerlegung.....	51
4.1.2 Sukzessivität	52
4.1.3 Differenzierung durch Spezialisierung der Sinnesorgane und ihrer instrumentellen Erweiterungen	52
4.1.4 Begriffliche Gliederung.....	52
4.1.5 Fazit	53
4.1.6 Richtungs- und Bewegungssinn im Prozess von Analyse und Synthese.....	53
4.2 Synthese durch Begriffsbildung.....	54
4.2.1 Synthese durch Nominalbegriffe.....	55
4.2.2 Synthese durch Funktionalbegriffe	55
4.2.3 Synthese durch Gegenstandsbildung.....	56
4.2.4 Die schöpferische Synthese durch selbstorganisierende Begriffsbildung	56
4.2.5 Naturerkundende und technikorientierte Synthese	57

4.2.6	Wechselseitige Mehrdeutigkeiten	57
4.2.7	Was tragen Modelle zur Erkenntnis der Wirklichkeit bei?	57
4.3	Mathematik als Technik und als Erkenntnismethode.....	60
4.4	Grade der Objektivität.....	63
4.5	Das Ganze und das Phantom der Teile	65
5	Ästhetische Beobachtung und Mimese.....	67
5.1	Ästhetische Betrachtung.....	67
5.2	Künstlerische Mimese.....	74
5.3	Wissenschaftliche Mimese.....	77
5.4	Naturwissenschaftliche und künstlerische Mimese im Vergleich.....	78
5.5	Fazit	80
6	Rahmenbedingungen des verstehenden Beobachtens	81
6.1	Zusammenhänge erhalten	82
6.2	Voraussetzungslosigkeit.....	82
6.3	Unterscheidung der Sinnesqualitäten	84
6.4	Vielfalt	84
6.5	Bewahrung der Sinnesmodalität.....	84
6.6	Phänomenologie und ästhetische Betrachtung	85
6.7	Authentizität und Ausdrucksstärke.....	85
6.8	Spiel und System.....	86
6.9	Wiederholungen.....	87
6.10	Alternative Sichtweisen.....	87
6.11	Künstlerische Darstellung	87
6.12	Verzicht auf spekulative Modelle	89
6.13	Exploratives Experimentieren	90
6.14	Darstellung des gedanklichen Zusammenhanges durch Bildung von Beobachtungsreihen.....	91
6.15	Die Überwindung der Paradigmen	94
6.16	Genügt diese Methode wissenschaftlichen Ansprüchen?.....	95
6.17	Fazit	97
7	Raum als Verständnis- und Bezugsgrundlage der Geoinformatik.....	98
7.1	Das instinktive Verständnis des Raumes	98
7.2	Vorbetrachtung.....	99
7.3	Bildung eines konsequent empirisch gebildeten Raumbegriffes	102
7.3.1	Beobachtungen zu Richtungen.....	102
7.3.2	Beobachtungen zur Entstehung des Raumes.....	102
7.3.3	Zur Rolle der Gleichzeitigkeit.....	105
7.3.4	Anmerkungen zum Zeitbegriff.....	106
7.3.5	Anmerkung zur Umwandlung von Raum in Zeit und vice versa.....	107
7.3.6	Differenzierung von Empirie und Interpretation in Bezug auf den Raumbegriff.....	108
7.3.7	Die geometrischen Grundelemente des Erfahrungsraumes	109
7.3.8	Geometrie des sinnlichen Erfahrungsraumes	111
7.3.9	Zusammenfassung: Entstehung eines Raumeindrucks.....	114
7.4	Physikalisch begründete Raumkonzeptionen.....	115

7.4.1	Überblick.....	116
7.4.2	Messungen als Raumkonstituierende.....	116
7.4.3	Erweiterung.....	117
7.5	Bedeutung des Raumkonzeptes für das Verständnis.....	117
7.6	Ergänzende Anmerkungen.....	119
7.6.1	Definitionen des Raumbegriffes.....	119
7.6.2	Zur Dreidimensionalität des Raumes.....	120
7.7	Fazit.....	122
8	Visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung.....	124
8.1	Einführung in die Fernerkundung der Erde.....	124
8.2	Die visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung.....	125
8.3	Analyse im Prozess der Bildbetrachtung.....	126
8.4	Synthese im Prozess der Bildbetrachtung.....	126
8.4.1	Synthese durch Nominalbegriffe: Dekodieren.....	126
8.4.2	Interpretation als Synthese durch Funktionalbegriffe.....	127
8.5	Besonderheit raumbezogener Daten.....	130
8.6	Zur Visualisierung von Fernerkundungsdaten.....	130
8.7	Möglichkeiten der vermutungsfreien Erkundung bei der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten.....	133
8.7.1	Ästhetische Betrachtung visualisierter Geodaten.....	133
8.7.2	Zur Objektbezogenheit.....	137
8.7.3	Zur Vielfalt.....	138
8.7.4	Zur spielerischen Arbeitsweise.....	138
8.7.5	Geomonitoring.....	138
8.7.6	Fazit.....	140
8.8	Erklärungsuntergründe.....	140
9	Aspekte der Ausbildung.....	142
9.1	Unterscheidung der Sinneswahrnehmungen.....	142
9.2	Qualifizierung der Sinnesorgane.....	142
9.3	Abbilden (Malen, Zeichnen, Beschreiben).....	143
9.4	Lösen von Denkgewohnheiten.....	143
9.5	Zur Begriffsbildung des Raumes und zum sinnlichkeitsfreien Denken.....	144
9.6	Zur Didaktik erfahrungswissenschaftlicher Tatsachen.....	145
10	Wertung der Ergebnisse.....	146
10.1	Theorie der visuellen Interpretation von Daten der Fernerkundung.....	146
10.2	Zu den nichttechnischen Grundlagen der Geoinformatik.....	147
10.3	Der Begriff des Raumes als Erkenntnismittel.....	148
11	Schlusswort: Ästhetik und Ethik.....	149
12	Kurzfassung.....	152
13	Literatur.....	155
14	Dank.....	167
15	Abbildungsverzeichnis.....	169
16	Thesen.....	172

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Mit Fernerkundungssensoren werden Teile der festen Erde, der Ozeane oder der Atmosphäre flächenhaft physikalisch vermessen. In Geoinformationssystemen werden die Daten mit anderen fusioniert: Beide Werkzeuge, Fernerkundung und Geoinformationssysteme, haben große Bedeutung bei allen erdraumbezogenen Arbeiten erlangt. Will man Fernerkundung und Geoinformatik für die Bildung von Verständnis nutzen, ist es notwendig, die Bildung gedanklicher Zusammenhänge vor dem Hintergrund sinnlicher Erfahrungen näher zu betrachten.

Durch den Einsatz von Fernerkundung und Geoinformationssystemen kann eine Wertschöpfung erzielt werden. Die Wertschöpfung wird im Bereich der Geoinformatik durch Datenerfassung, automatische oder interaktive Aufbereitung, thematischen Datenverschnitt, rechnergestützte Klassifizierung und durch visuelle Interpretation erreicht. Das Verständnis der Datengewinnung und -auswertung ist für die einzelnen Teilschritte unterschiedlich entwickelt: Fernerkundung basiert auf technisch-physikalischen Prozessen der Signalwandlung und Quantifizierung. Datenverschnitt und digitale Klassifizierung beruhen auf mathematisch-numerischen Algorithmen. Beide, Aufnahmesensoren und Auswertalgorithmen, sind unter der Voraussetzung kausaler Wirkungsketten geschaffen. Die Funktionsweise der Datenerhebung mithilfe der Fernerkundung sowie die digitale Ableitung von Geoinformationen durch Datenverschnitt oder Klassifizierung sind von daher in Form der zugrunde liegenden physikalischen und informatorischen Wirkprinzipien bekannt und in Lehrbüchern und Aufsätzen dargestellt. Anders verhält es sich mit der visuellen Interpretation, wie der folgende Überblick zeigt:

1.2 Visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung in der Literatur

Das Spektrum an Theorien, wie ein menschlicher Interpret zu seinen Erkenntnissen kommt, reicht von bis heute gültigen Aspekten der Sinneslehre des Aristoteles (384–322 v. Chr.) über Theorien auf der Grundlage von Entwicklungen der philosophischen Erkenntnislehre, der physikalischen Optik, der Physiologie, der Farbtheorie, der Signal- und Informationsverarbeitung, der Semiotik, der Neurologie und Kognitionsforschung bis hin zu konstruktivistischen Top-down- oder Bottom-up-Strategien, gestalttheoretischen, wahrnehmungsökologischen oder systemischen Erklärungsansätzen [NEUMANN & STIEHL 1997].

Das Verständnis des menschlichen Sehens sei für die zweckmäßige Gestaltung der Interpretationsprozesse oder die Weiterentwicklung der rechnergestützten Bildinterpretation von Bedeutung, wie Estes et al. und Schiewe schreiben. [ESTES ET AL 1983, S. 988], [SCHIEWE 2003] Daher wird die visuelle Interpretation von Bildern auch in der Fernerkundungsliteratur behandelt: Estes et al. stellen die Schwierigkeiten der Erforschung der visuellen Wahrnehmung sowie die wichtigsten Theorien der Wahrnehmung, insbesondere die Gestalttheorie, dar. Die visuelle Interpretation wird in diesem Beitrag im Kern als die sinnliche Aufnahme des Rohmaterials und dessen logischen Prozessen folgende Synthese („inference“) beschrieben. Folgern und Schließen stehen als wichtigste Teile eines Problemlösungsverfahrens im Mittelpunkt dieser Ausführungen. In [PHILIPSON 1997, S. 49–110] werden darüber hinaus die Feststellungen getroffen,

- dass das Verständnis der visuellen Wahrnehmung eine wichtige Grundlage der Fernerkundung darstelle,
- dass die Interpretation der Fernerkundungsdaten von ihrer Anwendung, nicht von ihrer Theorie, vorangetrieben würde,
- dass die Fortschritte der Fernerkundung überwiegend aus der digitalen Bearbeitung folgten, nicht der Entwicklung des Verständnisses der visuellen Wahrnehmung und

– dass das 1997 dargestellte Verständnis der visuellen Interpretation dem Stand der Auflage des „Manual of Photo Interpretation“ von 1960 ganz wesentlich entsprechen würde.

Söllner beschreibt Möglichkeiten der verbesserten Visualisierung aufgrund physiologischer Eigenschaften des Auges. [SÖLLNER 1982] Harris et al. heben in ihrem Beitrag innerhalb des von Rencz 1999 herausgegebenen dritten Bandes des „Manual of Remote Sensing“ allerdings hervor, dass die traditionellen Wahrnehmungstheorien der additiven Farbmischung, wie sie zahlreichen Publikationen zugrunde liegen, für die visuelle Interpretation keine Geltung besäßen. [HARRIS ET AL. 1999] Sie setzen bei der Farbwahrnehmung auf die *Kontextabhängigkeit* der Wahrnehmung. Das ist in zweifacher Hinsicht bedeutsam. Erstens werden die vielen Veröffentlichungen zugrunde liegenden Theorien der Farbwahrnehmung infrage gestellt, zweitens betonen sie die Abhängigkeit der Wahrnehmung von der Umgebung. Albertz stellt die Kontextabhängigkeit der Bedeutung eines Bildmerkmals heraus. [ALBERTZ 1997a und b] Kontext bestimmt also sowohl die Empfindung [HARRIS ET AL. 1999] als auch die Bedeutung [ALBERTZ 1997a und b], [ESTES ET AL. 1983], [PHILIPSON 1997, S. 49–110] eines Bildmerkmals. Albertz stellt darüber hinaus weitere Phänomene der visuellen Wahrnehmung vor und gibt die von ihm bevorzugten Erklärungen wieder. [ALBERTZ 1997a, b und 2001]

Sagdeev, Drury und Wieneke stellen neben Beispielinterpretationen regelwerksartige Erklärungsversuche des menschlichen Wahrnehmungsvermögens vor. [SAGDEEV 1989; DRURY 1987; WIENEKE 1988, SCHNEIDER, S. 1974, S.168-182] Die Fähigkeit, in Luft- und Satellitenbildern Objekte mit bestimmten Bedeutungen wiederzuerkennen, wird vereinfacht folgendermaßen erklärt: Aus vergleichenden Betrachtungen einer Landschaft vor Ort und ihrer Abbildung im Luftbild wird ein Regelwerk erstellt, welches Kombinationen der Bildmerkmale Farbe, Form, Kontrast, Größe, Muster, Schatten, Textur und Kontext festgelegte Bedeutungen zuordnet. Die Zuordnungsregeln für die Interpretation bestimmter Bildmerkmale als Objekt mit einer gewissen Bedeutung heißen „Interpretationsschlüssel“. Sie sind für die visuelle Interpretation typischerweise in Form einer Art Musterkatalog oder als hierarchischer Entscheidungsbaum, wie er aus der Botanik bekannt ist, aufgebaut. Die in Interpretationsschlüsseln formulierten Zuordnungsregeln formalisieren die visuelle Interpretation. Mit ihrer Anwendung werden die Ergebnisse vergleichbar und es kann versucht werden, die Bedeutungszuweisung zu automatisieren. Estes et al. und Philipson stellen darüber hinaus Geräte und Hilfsmittel zur Reduktion subjektiver Einflüsse vor. [ESTES ET AL. 1983], [PHILIPSON 1997, S. 49–110] Dem Aufstellen von Zuordnungsregeln folgen auch die bereits zitierten grundlegenden Darstellungen der visuellen Interpretation [ESTES ET AL. 1983] und [PHILIPSON 1997] sowie die Publikationen von Albertz, Hildebrandt und Kraus. [ALBERTZ 1970, 1997a, b, 2001], [HILDEBRANDT 1996, S. 288 f.], [KRAUS 1988, insb. S. 363–372] (These 6)

Die Bedeutung der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten liegt nach der genannten Literatur im Erreichen eines räumlichen Überblicks („Was ist wo?“). Die Darstellungen der Interpretationsmethode nehmen in den genannten Arbeiten im Vergleich zu den stets folgenden Beispielen einen deutlich geringeren Umfang ein. Dementsprechend sind in der Literatur in Bezug auf die visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten Regeln zu finden, wie Sinneswahrnehmungen („Interpretationsmerkmale“) bestimmte Bedeutungen zugeordnet werden können.

Estes et al. gehen darüber hinaus [ESTES ET AL. 1983, S. 1008]: Sie führen aus, dass die Interpretation von Fernerkundungsdaten auch inhaltlich-funktional begründete Zuweisungen von Bedeutungen einschließen kann. Als Beispiel führen sie das Erkennen eines Wärmekraftwerkes am funktionalen Zusammenhang von großen Gebäuden, Rauchabzügen, Kohlelagerplätzen, Verkehrswegen, Wärmefernleitungen und Kühltürmen an. (Dies wird in Abschnitt 8.4.2 aufgegriffen.)

1.3 Die Interpretation von Karten und kartenähnlichen Abbildungen

Die *sekundäre* Interpretation von Luft- oder Satellitenbildern (d. i. die Interpretation von Anordnungen bereits erschlossener Bedeutungen) gleicht der Interpretation von Karten oder kartenähnlichen Darstellungen, wie sie für geografische Zwecke von Hüttermann oder, insbesondere für Raumgliederungen, von Bartel unter methodischen Gesichtspunkten und an Beispielen erörtert wird. [HÜTTERMANN 2001], [BARTEL 1970]

Die Interpretation von Karten besteht demnach aus zwei Schritten. Der erste Schritt stellt eine Analyse des Karteninhaltes dar: „Am Anfang stehen Erkennen, Beschreiben, Benennen. Die Grundlage bildet das sichere *Lesen* [Hervorhebung durch den Verfasser] der elementaren Zeichen.“ [BARTEL 1970] Die Zusammenfassung der Wahrnehmungsphänomene zu kartografischen Zeichen sowie ihre Deutung erfolgt nach einiger Übung reflexartig, ohne bewusstes Nachdenken. Die Analyse geht insofern über eine rein informative Dekodierung hinaus, als dabei bereits Auswahlkriterien angewendet werden, die durch das Vorverständnis des Interpreten bestimmt ist [HÜTTERMANN 2001]. Der Lesende müsse versuchen, den Gedankengang des Kartografen nachzuvollziehen; er dürfe nicht jedes Einzelzeichen einfach als gegeben hinnehmen, sondern habe zu fragen, wo vereinfacht, unterdrückt oder hervorgehoben wurde, so [BARTEL 1970]. Der zweite Schritt sei, so Bartel weiter, eine Synthese, in der die dekodierten Elemente in ihren räumlichen Relationen zu einem „neu geschaffenen System vereinigt“ (sic!, wie bei Kant, siehe Zitat in Abschnitt 1.4) werden. Zur Verdeutlichung der beiden Phasen gibt Hüttermann das folgende Beispiel der erstens Dekodierung und zweitens der Deutung des Blattes einer topografischen Karte des Oberrheins [HÜTTERMANN 2001, S. 15 f]: Der gerade Verlauf des Flusses, die Uferdämme, daneben die Altwasserarme seien direkt erkennbare, „primäre“ Informationen. Aus ihnen schließt er im zweiten Schritt auf die Regulierung des Rheins, was eine „sekundäre“, d. h. nicht unmittelbar mit kartografischen Zeichen kodierte Information darstellt.¹ Für die korrekte Abbildung der dekodierten Elemente und Relationen ist „die allgemeine Geografie mit dem Terminologieverständnis und -gebrauch Voraussetzung; darüber hinaus ist ein methodisch-theoretisches Konzept von Geografie notwendig für die Darstellung des gesamten Systems.“ [HÜTTERMANN 1975] Die ausschlaggebende Bedeutung von Vorwissen betont auch Hagel [HAGEL 1998, S. 15].

Die Bildung originär neuer gedanklicher Zusammenhänge, die über eine Einordnung in bekanntes Vorwissen hinausgehen, wird immer wieder eingefordert (siehe [BARTEL 1970], [HÜTTERMANN 1975]). Der Weg zur Einordnung der dekodierten Einzelelemente in eine neue geschlossene Sinneinheit verläuft nach [SCHUMANN 2002 und MÜLLER, A. 2005] ganz in Übereinstimmung mit dem in den Naturwissenschaften üblichen Vorgehen über das Aufstellen von Hypothesen, welche über entsprechende Datenerhebungen und Berechnungen zu verifizieren sind. Der Karteninterpretation kommt darin die Rolle als Impulsgeber und bei [SCHUMANN 2002] auch die der Entscheidungsgrundlage über die Annahme oder Ablehnung der Hypothese zu: „In der wissenschaftlichen Arbeit wird [die] Karteninterpretation meist für [die] Vorbereitungsphase gebraucht. [Die] weiterführende Arbeit [erfolgt] dann empirisch am Objekt selbst oder durch Quellenstudium anderer Art.“ [HÜTTERMANN 2001, S. 24] Sinngemäß so auch [HAGEL 1998, S. 15].

Es sei noch hinzugesetzt, dass Hüttermann zwischen „kennen“ und „verstehen“ unterscheidet, wenn er schreibt: „Es ist wichtiger, verstanden zu haben, daß Gesteinsunterschiede Stufenbildner auszeichnen als einfach Weißjura beta hinzuschreiben.“ [HÜTTERMANN 1975]

Eine Übertragung des von Hüttermann zitierten Beispiels auf die Interpretation von Fernerkundungsdaten in Abbildung 1 zeigt die Unterschiedlichkeit der Interpretation von Karten und von

¹ Die damit verbundenen Veränderungen des Grundwasserstandes, der Fließgeschwindigkeit etc. regen die Suche nach weiteren Zeichen für die Auswirkungen der Kanalisierung an.

Fernerkundungsbildern: Die Variation der Erscheinungsweise eines Objektes in der Wirklichkeit und im Fernerkundungsabbild verhindert ein einfaches Dekodieren der Interpretationsmerkmale: Der Interpretationsschlüssel ist also keine Kartenlegende. Er kann nur ein Leitfaden zur Beschleunigung und Erleichterung des Interpretationsablaufs sein (so auch [SCHOLZ ET AL. 1980, S. 164]).



Abbildung 1 Unterscheidung direkter und abgeleiteter Informationen an einem Beispiel aus der Fernerkundung: Das Satellitenbild (Quelle: Google Earth, 49 ° 22' N; 8 ° 29' O, 21.9. 2006) zeigt den Rhein südlich von Ludwigshafen. Primäre Informationen sind beispielsweise der gerade Verlauf des Oberrheins, die Uferdämme, daneben die Altwasserarme. Daraus wurden unter Verwendung des (geografischen) Vorwissens die sekundären Informationen „der Rhein wurde reguliert“ oder „er erreicht eine höhere Fließgeschwindigkeit“ abgeleitet.

Weiterhin wird die Interpretation von Karten im Rahmen der Visualisierung von Geodaten behandelt. MacEachren oder Schumann & Müller untersuchen die Frage, wie Inhalte mit kartografischen Darstellungen kommuniziert werden können [MACEACHREN 1995, SCHUMANN & MÜLLER 2000]. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit tragen sie zur Visualisierung von Geodaten bei.

1.4 Auswertung

Die Interpretation von fotografieähnlichen Datenvisualisierungen und kartenähnlichen Darstellungen mit zeichenartigen Kodierungen bestimmter gedanklicher Inhalte unterscheiden sich in einem zentralen Punkt: Das Lesen von Karten setzt die fehlerfreie Dekodierung der mit den Zeichen verschlüsselten gedanklichen Inhalte voraus. Mögliche Freiräume für die Deutung bestehen hier ganz überwiegend allein innerhalb der Gedankensphäre, nämlich mit Ausnahme der räumlichen Anordnung der Kartenzeichen. Demgegenüber hat sich die Interpretation reiner – also noch nicht mit Bedeutungen verbundenen – Daten mit der Zuordnung gedanklicher Bedeutungen zu den sinnlichen Beobachtungen auseinanderzusetzen: Wie können aus Sinnesempfindungen, die vermeintlich der Täuschung unterliegen und subjektabhängig sind, zuverlässige Informationen bestimmt werden? Die Antwort liegt nicht im Verweis auf die Verwendung von Interpretationsschlüsseln. Denn erstens können diese, wie bereits dargelegt, nur als Leitfaden dienen und zweitens steht die Frage, ob der nur mit Fernerkundung und Geoinformatik mögliche Überblick und die Fusion verschiedener Daten und Informationen die Bildung neuer, über das Wiedererkennen hinausgehender Erkenntnisse gestattet, für die es noch keine Interpretationsschlüssel gibt.

Ein anderes Defizit besteht darin, dass es keine Einordnung der Methode der visuellen Interpretation in den gesamten wissenschaftlichen Erkenntnisprozess gibt: Der Wert der visuellen Interpretation gegenüber quantitativen, messenden Wissensbildungsstrategien wird nicht klargestellt. Insbesondere Technikern bleibt die Erkenntnis, die nicht auf Messungen beruht, suspekt.

Ein weiterer und für mich der entscheidende Grund, warum die bekannten Reflexionen zur Methode der wissenschaftlichen Bildinterpretation als ungenügend beurteilt werden müssen, ist selbst methodischer Natur: Die Darstellungen beginnen nicht bei einer weitestgehenden Trennung von Erfahrung und gedanklicher Interpretation, wie es neuzeitliche Wissenschaftlichkeit verlangt (ausführlich siehe Abschnitt 2.2).

Außerdem wird von den genannten Autoren nur mit sehr allgemeinen Aussagen der Frage nachgegangen, was der Raum zur Verständnisbildung erdbezogener Phänomene beiträgt. Im Zusammenhang mit der Interpretation raumbezogener Daten wird seine Existenz schlicht vorausgesetzt. Solange die Rolle des Raumes für den Erkenntnisprozess nicht explizit herausgestellt wird, bleibt unklar, welchen Einfluss die Geometrie des Raumes, Mess- oder Abbildungsfehler räumlicher Größen auf nicht quantitative Ergebnisse der visuellen Interpretation haben.

Die technischen Prozesse der Datengewinnung und die digitale Verarbeitung sind nach bestimmten funktionalen Modellen (Ideen) geschaffen. Ihre Wirkungsweise ist bekannt. Für die visuelle Interpretation ergibt sich ein anderes Bild: Für die verständige Wahrnehmung liegen offensichtlich keine allgemein akzeptierten, überzeugenden Erklärungen vor. Neben einigen Gemeinsamkeiten (Wahrnehmung ist als ein aktiver, außerordentlich komplexer Prozess zu denken, Beobachter und Beobachtetes wirken in der Bildinterpretation zusammen) sind die Abhandlungen zum Bildverstehen durch eine Vielzahl konkurrierender Vorstellungen geprägt: Top-down-Modell, Gestalttheorie, wahrnehmungsökologischer Ansatz etc.² Weil „die menschliche Vernunft ihrer Natur nach architektonisch ist, d. i. sie betrachtet alle Erkenntnisse als gehörig zu einem möglichen System [...]“ [KANT 1787, S. 502], stellt sich für die visuelle Interpretation raumzeitlicher Größen die Frage nach einer schlüssigen Synthese der verschiedenen Erklärungsmuster. Die erkenntnistheoretische Reflexion naturwissenschaftlicher Forschungsmethoden findet, wenn überhaupt, ihren Platz in für die Forschung irrelevanten Sonntagsreden von Philosophen und einigen, meist pensionierten Naturwissenschaftlern, statt in indizierten Zeitschriften des Fachbereiches.

Wenn der mit der Visualisierung von Geodaten mögliche Überblick für eine wissenschaftlichen Kriterien standhaltende Wissensakquisition und Verständnisbildung genutzt werden soll, fehlt die Darstellung von Bedingungen und Voraussetzungen, die für die visuelle Interpretation raumbezogener Daten gültig und erkenntnistheoretisch notwendig sind. Weder Naturwissenschaft noch Gehirnforschung haben mit Theorien oder Wissen, wie Sehen und Wahrnehmen simuliert werden können, nachhaltig zur Entwicklung der visuellen Interpretation beigetragen. Die Diskrepanz der pragmatisch geübten Praxis der visuellen Interpretation von Daten der Fernerkundung und der unzureichenden methodischen Reflexion verlangt nach einer Klarstellung der grundsätzlichen und allgemeinen Voraussetzungen der Informationsgewinnung aus vermeintlich trügerischen visuellen Sinneswahrnehmungen. (These 1)

Die Darstellungen zur visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten, wie sie in den wichtigsten Lehrbüchern zu finden sind, richten sich auf die Erzeugung subjektunabhängiger, vergleichbarer und quantitativer Ergebnisse. Methodisch wird allein die Zuordnung von Bedeutungen für den *Wiederholungsfall*, das Wiedererkennen, beschrieben. Eine Alltagserfahrung zeigt, dass sich die Zuordnung einer Bedeutung und das Verstehen eines Sachverhaltes unterscheiden: Herr Schmidt erkennt Frau Lehmann an ihrem roten Hut. Aber er versteht sie und ihr Verhalten besser, seit er

² Für einen Überblick siehe [GOLDSTEIN 1997].

sie auch – ohne roten Hut – als Kassiererin in der Kaufhalle und als Rettungsschwimmerin im Strandbad kennen gelernt hat. Dieses simple Beispiel lehrt, dass das Verständnis mit der Vielfalt des Kontextes zunimmt, in welcher das Phänomen beobachtet wird (These 10). Verständnis erwächst also gerade aus der Individualität der Einzelfälle, nicht aus der vielfachen Anwendung formaler Zuordnungsregeln: „Um den Wahrnehmungsvorgang verstehen zu können, genügt es offenbar nicht, nur die Zuordnungsregeln zwischen einfachen Reizinformationen und den Wahrnehmungsinhalten zu finden und diese, miteinander verbunden, auf komplexe Vorgänge anzuwenden.“ [RITTER 1997] Wie gewinnt man also bewusste Einsicht in einen Sachverhalt, die über die bloße Kenntnisnahme ihrer Anordnung hinausgeht? Eine Methode der kreativen, weit über die von Rechenanlagen hinausgehenden Fähigkeiten der visuellen Interpretation zur Bildung von Erkenntnis wurde bislang nicht entwickelt. Daher stellt sich die Frage, wie ein *Beobachtungsverfahren* beschaffen sein muss, welches auf das inhaltliche Begreifen eines Sachverhalts gerichtet ist, welches nicht in der bloßen Kenntnisnahme, sondern in der intellektuellen Erfassung des Zusammenhangs besteht. Wie muss beobachtet werden, wenn ein Sachverhalt verstanden werden soll? Die Betonung liegt hier im Begreifen eines *Sachverhaltes*. Das Erkenntnisziel besteht nicht in einer technischen Simulation eines bestimmten Effektes, sondern in der Bildung von Verständnis, *wie etwas ist*. Unabhängig davon, ob es technisch, physikalisch, mathematisch modelliert oder nachgemacht werden kann.³

1.5 Zielstellung

Aus den genannten Abhandlungen zur visuellen Interpretation ziehe ich den Schluss, dass es an einer Darstellung der visuellen Interpretation mangelt, die folgenden Ansprüchen genügt: Erstens sind Erkenntnisse verschiedener mit der Bildinterpretation befasster Wissensbereiche, der Wahrnehmungspsychologie, der Erkenntnistheorie und der Kunstwissenschaft, zu einem Verständnis der visuellen Interpretation von Daten der Fernerkundung zu vereinigen. (These 1) Diese Synthese ist das vorrangige Ziel dieser Arbeit.

Jedem reduktionistischen Wissenschaftsansatz muss die Definition der Explananda vorausgehen. Diese vorausgehende Begriffsbildung wird in der vorliegenden Schrift selbst zum Gegenstand einer methodischen Untersuchung. Die empirisch fundierte Generierung von Begriffen soll an einem Grundbegriff der Geoinformatik beispielhaft gezeigt werden. Weiterhin ist das Potenzial der Fernerkundung zur erfahrungsbasierten Begriffsbildung zu klären.

1.6 Gegenstand

Mit Fernerkundung und Geoinformatik werden Erkenntnisse über erdbezogene Phänomene gewonnen. Geoinformatik funktioniert in der Regel so: Man nimmt Daten der zu untersuchenden Phänomene, bezieht diese örtlich und zeitlich aufeinander und berechnet daraus neue Daten. Diese werden grafisch visualisiert und bewertet. Das Verfahren ist pragmatisch, problemlösend, erfolgreich. Soll als Ergebnis keine Zahl angegeben, sondern eine Bedeutung formuliert werden, muss man sich mit dem Erkenntnisprozess und den ihm zugrunde liegenden Voraussetzungen vom Prinzip her auseinandersetzen. Das soll hier geschehen.

Wenn die zu erkundenden Phänomene nicht unmittelbar beobachtet werden können, bedarf es instrumenteller Verlängerungen der menschlichen Sinnesorgane. Im Falle ausgedehnter Geophänomene ist die Erdfernerkundung ein solches Beobachtungsinstrument. Um Fernerkundungsdaten wahrnehmbar zu machen und in ihren Bezügen verständlich werden zu lassen, bietet es sich an, Methoden der digitalen Bildverarbeitung und der durch ein Geoinformationssystem (GIS) gestützten Visualisierung zu verwenden. Vielen Geoinformatikanwendungen ist gemeinsam, dass bislang menschlich-visuell gelöste Aufgaben der Objekterkennung nun auf andere Weise, nämlich

³ Zu dem Unterschied zwischen Simulation und dem wie es ist siehe auch [BÄHR 2003].

mit Sensorsystemen und Rechentechnik, gelöst werden sollen. Die Geoinformatik in diesem Sinn kann als technisches Pendant zur visuellen Beobachtung und Interpretation gesehen werden. Darum soll es hier jedoch nicht gehen.

Etwas anderes ist es, wenn Phänomene erstmals erkundet, untersucht und in ihren Bezügen verstanden werden sollen. Die Geoinformatik hat dann den Charakter eines Erkenntnisinstrumentes, nicht den einer Prothese. Das Erkenntnisinstrument soll auf die ihm zugrunde liegenden Bedingungen und Voraussetzungen hin untersucht werden.

1.7 Globale Charakterisierung des Problemumfeldes

Die hier zu beantwortende Frage, wie ein auf Verständnis räumlicher Phänomene gerichtetes Beobachtungsverfahren zu gestalten ist und welcher Art die erreichbaren Ergebnisse sind, liegt technikorientierten Darstellungen der Visualisierung und Kommunikation mit Bildern zwar zugrunde, ist dort jedoch nicht Gegenstand der Untersuchung. Das hat seinen Grund in der philosophischen Natur und der neuzeitlichen Trennung von Natur- und Technikwissenschaften, Philosophie und Kunst: „Der eigentliche Gegenstand der Wissenschaft sind die mathematisch beschreibbaren Strukturen von Beziehungen zwischen Elementen einer einheitlichen Natur, die mit Hilfe gezielter experimenteller Forschung aufgedeckt und in nützlicher Technik angewendet werden können.“⁴ Daran gemessen liegt die hier begehrte Darstellung der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten jenseits der Wissenschaft: Die Anwendung in nützlicher Technik ist nicht ihr unmittelbares Ziel, sondern das Verständnis um ihrer selbst willen.

Sicherlich geht auch der gewohnten naturwissenschaftlichen Forschung mit der Hypothesenbildung eine *naturerkundende* Phase voraus⁵. Während es in der gewohnten naturwissenschaftlichen Forschung bedeutungslos ist, woher die Anfangshypothese stammt (aus einer Analogie, einem Brainstorming, einer zufälligen Assoziation oder gedanklichen Intuition), soll hier nachgefragt werden, wie sachlich im Beobachtungsobjekt veranlagte gedankliche Zusammenhänge gefunden werden können. So gesehen ist die hier gefragte Methode nicht etwas gänzlich Neues. Sie ist durch eine ausschließliche Ausrichtung auf das Beobachtungsobjekt bei vollständiger Vernachlässigung ihrer Simulierbarkeit, Messbarkeit, Modellierbarkeit oder technischen Nachbildbarkeit bestimmt.

Insgesamt steht man vor folgender Situation: Innerhalb der Fachliteratur findet sich kein Gesamtkonzept, wie die sinnliche Wahrnehmung visualisierter raumbezogener Daten zur Bildung von Verständnis beiträgt. Die Antwort ist nicht mit den Werkzeugen eines Technikers (Bildung einer Arbeitshypothese, Versuchsplanung, Versuchsdurchführung, Messungen, Modellbildung, Verifikation und fehlertheoretische Auswertung) zu lösen. Stattdessen stehen Bibliotheken voller Erkenntnisse aus über zweitausend Jahren Kulturgeschichte bereit, aufgegliedert nach verschiedenen Bereichen – von der Erkenntnistheorie über die Wahrnehmungs- und Kognitionspsychologie bis zu Kunstwissenschaften, Ästhetik und moderner Physik. Man steht vor der Aufgabe, einen Maßstab zu entwickeln, nach dem Wichtiges von weniger Wichtigem unterschieden werden kann und das Wichtige eine schlüssige Antwort gibt, wie der Interpret raumbezogener Daten zu seinen Erkenntnissen gelangt. Somit kennzeichnen zwei Merkmale den Ausgangspunkt: Es gibt für die Beantwortung keinen Rückgriff auf die akzeptierte naturwissenschaftliche Arbeitsweise und es gibt eine enorme Breite des mit dem Thema in Verbindung stehenden Wissens. Beide Merkmale bestimmen die Methode der Untersuchung, wie die Gestaltung der Arbeit insgesamt.

⁴ <http://cbl.fh-hagenberg.at/links/Eckerstorfer-2003/dokumente/wissenschaftstheorie.pdf>, 27.2. 2006.

⁵ Nach Popper gilt das „Voraus“ im wörtlichen Sinne, die Phase der Hypothesenbildung liegt außerhalb der wissenschaftlichen Tätigkeit, wie im Abschnitt 6.16, S. 96 ff., geschildert wird, wo die wissenschaftsmethodische Diskussion wieder aufgenommen wird.

1.8 Relevanz der Aufgabenstellung

In Bezug auf die Modellierung der Wirklichkeit ergibt sich im Spiegel der Autoritäten ein nüchternes Fazit: Im Rahmen einer ausführlichen Darstellung zur Modellierung in der Landschaftsökologie stellt Leser für das Verhältnis von Modell und Wirklichkeit fest:

„Nicht nur für die Geographie oder die von ihr betriebene Landschaftsökologie, sondern für alle – erfahrungswissenschaftlichen – Ökologien gilt: Ihre Modelle können gar nicht die Wirklichkeit abbilden, sondern lediglich ‚Vorstellungen‘ darüber. Diese Vorstellungen sind vom jeweiligen disziplinären Kontext, dessen Forschungsfrenten, aber auch dessen Traditionen bestimmt.“ [LESER 1997a, S. 54]

Auch wenn die weitere Auseinandersetzung mit dieser Aussage genauere Erläuterungen voraussetzt, was Leser mit Vorstellungen meint, die jedoch nicht gegeben werden, wird doch deutlich, dass „Modelle nicht die Wirklichkeit abbilden“. Das Modell sage nichts über die tatsächlichen Verhältnisse und Prozesse in der Realität. „Es gibt in der erdräumlichen Realität keine (Geoöko-)Systeme in dem Sinne, wie Menschen diese interpretieren“, sondern „Realitätsausschnitte werden vom Menschen als (Geoöko-)Systeme behandelt. Damit entspricht dieser Ansatz der klassischen Idee vom Modell einer – wie auch immer bestehenden – Struktur.“ [KÖCK 1997] Köck und Leser gehen in Bezug auf das Hervorbringen und Erhalten von Strukturen noch weiter: Nicht nur, dass die selbstorganisierende Tätigkeit nicht modelliert würde, sie sei explizit nicht das Ziel der Modellierung [KÖCK 1997], [LESER 1997b].

Das Erkennen *inhaltlich* gegebener Bezüge hat in der jüngsten Vergangenheit besondere Bedeutung erlangt: Angesichts der erfolgreichen technischen Anwendung einer auf Nutzen orientierten Naturwissenschaft wurden deren Ergebnisse vielfach als Strukturen der Natur ausgegeben. Wenn nicht beobachtbaren Dingen die Eigenschaft Ursache zu sein, zugeschrieben wird, ist die Erklärung jedoch irreführend. Das Misstrauen gegenüber dem vorherrschenden Paradigma einer technikähnlichen, d. h. kausal verursachten Wirklichkeit trat im Wesentlichen erst angesichts ihres Versagens auf. Die zuvor in der Atomphysik begründeten Zweifel am neuzeitlichen Wissenschaftsbild wurden auf den – für den Durchschnittsmenschen irrelevanten – Bereich des Mikro- und Makrokosmos verwiesen. Erst in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurde in großem Stil „in den verschiedensten Disziplinen offenbar, daß unser Wissen nicht das sein kann, wofür wir es gewöhnlich halten: nämlich eine beschreibende Wiedergabe der Realität“ [WALLNER, 1990]. Angesichts spontan auftauchender Ordnung in einer Welt, deren Untergang im totalen Chaos durch den im Zweiten Thermischen Hauptsatz deklarierten Ausgleich aller Wärmeunterschiede besiegelt zu sein schien, geriet die Frage nach dem Wahrheitsgehalt unseres naturkundlichen Wissens stärker in das Gesichtsfeld. Aufgrund der bedrohlichen Zerstörung der Lebensgrundlagen und angesichts der unerwünschten Nebenwirkungen, die vermeintlich korrigierendes Handeln auslöst, stellt sich die Frage neu, wie Natur funktioniert und welchen Wert unser Wissen davon hat, wenn es zu großen Teilen keine objektive Beschreibung der Realität, sondern eine Möglichkeit ihrer technischen Simulation ist.⁶

Neben diesem erkenntnistheoretischen Aspekt hat die Semantik auch in der rechnergestützten Objekterkennung Bedeutung (siehe beispielsweise [BÄHR 2005], [TADEUSIEWICZ & OGIELA 2004a und b]).

Ist es für Geoinformatiker wichtig, die (visuelle) Wahrnehmung zu verstehen? Die Antwort liegt in Folgendem: Trotz aller Skepsis gegenüber unserer Sinneswahrnehmung ist sie erstens die *Bezugs- und Referenzgröße*. Wenn beispielsweise ein neues Messverfahren entwickelt würde, würden wir erwarten, dass die Messwerte mit unseren Erfahrungen übereinstimmen. Oder: Ob ein Algorithmus zur Objekterkennung funktioniert, wird durch einen Vergleich mit den eigenen sinnlichen Erfahrungen entschieden. Zweitens ist das Verständnis des Erkenntnisprozess von ent-

⁶ „Vielleicht sollte man, wenn man in der Schule lernen soll, wie Wissenschaft ist, auch lernen, daß sie zum großen Teil instrumentell und ohne tieferes Verständnis angewandt wird.“ [MINSSEN 1981]

scheidender Bedeutung für die *Wertung* der Erfahrungen, Beobachtungen oder Messungen: Welchen Wahrheitsgehalt messe ich einer Beobachtung zu, welche Zweifel haben ihre Berechtigung, in welchem Verhältnis stehen widersprüchliche Erfahrungen? All dies hängt vom Verständnis der Erkenntnisvorgänge ab. Drittens wird sich die *interpretationsgerechte Aufbereitung* der Daten nach den Vorstellungen von der Wahrnehmung richten: Bilden physiologische Parameter den Maßstab (beispielsweise [SÖLLNER 1982]) könnte sich eine andere Optimierung ergeben als bei einer Bildaufbereitung auf der Grundlage eines gestalttheoretischen Konzeptes.

1.9 Welche Fragen werden beantwortet?

Theorie der Interpretation von Fernerkundungsdaten

Die Interpretation von Fernerkundungsdaten zielt gewöhnlich auf die Gewinnung von Informationen über das Vorhandensein und den physikalischen Zustand natürlicher oder künstlicher Objekte. Als universelles Werkzeug erschöpft sie sich nicht in der flächenhaften und temporalen Extrapolation und dem auf diese Weise gewonnenen Wissen von der räumlichen Anordnung der identifizierten Objekte. Wie kann sie auch bei der Untersuchung von Phänomenen eingesetzt werden, zu deren Behandlung eine Begrifflichkeit (noch) nicht gegeben ist oder infrage steht, wo das begriffliche Ordnungsgefüge erst noch auszubilden ist, wie aktuell beispielsweise bei Phänomenen der Selbstorganisation? Die Methode der Auswertung von Daten der Fernerkundung wurde in der jüngsten Vergangenheit durch vertiefte Kenntnisse physikalischer Zusammenhänge zwischen Objektzustand und Reflexionscharakteristik und durch die vielgestaltige Fusion verschiedenartiger Daten entwickelt und anhand zahlreicher Beispiele dargestellt. Substanziell weiterführende Ausführungen, wie eine explorierende, das heißt auf Begriffsentwicklung orientierte, visuelle Interpretation raumbezogener Geodaten aussehen kann, sind in der Fernerkundungs-, Kartografie- oder GIS-Literatur rar, denn in den mit [ALBERTZ 2001, S. 123–126 und 133], [AVERY 1992; S. 51–70], [CAMPBELL 1996, S. 122–135], [DRURY 1987, S. 15–29], [GIBSON 2000, S. 57–62], [JENSEN 2000, S. 119–136], [ESTES ET AL. 1983, S. 987–1014], [LILLESAND & KIEFER 2004, S. 194–207], [PAINE & KISER 2003, S. 285–295], [PHILIPSON 1997, S. 50–74], [SABINS 1978, S. 11–12] oder [SCHNEIDER, S. 1974, S. 168–180] gegebenen Darstellungen der visuellen Interpretation wird nichts darüber ausgesagt, wie beobachtet werden muss, um zu einer „beschreibenden Wiedergabe der Realität“ [Wallner 1990] zu gelangen. (These 17) Die Übernahme von Verantwortung für die ökologischen Folgen menschlichen Tuns setzt Verständnis voraus. Ohne Verständnis können die Folgen nicht abgesehen, Verantwortung nicht übernommen werden. Diesem Defizit an methodischem Wissen stehen andererseits neuere Erkenntnisse aus der Wahrnehmungspsychologie, der Erkenntnistheorie und der Kunstrezeption gegenüber, deren Integration in die Theorie der visuellen Interpretation zu prüfen ist.

Rahmenbedingungen der objektbezogenen Bildung von Verständnis

Eine Reihe von Wissenschaftstheoretikern (Kuhn, Popper), Ökologen und Philosophen (Kant, Heidegger) stimmen darin überein, dass alles wissenschaftliche Wissen Interpretationen voraussetze, die auf grundlegenden Paradigmen oder begrifflichen Modellen beruhen. Nur so wäre es dem naturwissenschaftlich arbeitenden Forscher möglich, Daten zu isolieren, Theorien zu entwickeln oder Probleme zu lösen. Der Mathematik und den Naturwissenschaften geht die Festlegung grundlegender Begriffe voraus. Dies sind in der Physik Begriffe wie Zeit, Raum, Zahl, Unendlichkeit. (Weniger grundsätzliche Begriffe werden zu Beginn einer wissenschaftlichen Ausführung definiert.) Die Bestimmung der einer Wissenschaft zugrunde liegenden Begriffe kann nicht mit den Mitteln dieser Wissenschaft erfolgen und wird dem allgemeinen Menschenverstand oder der Philosophie überlassen. In der vorliegenden Schrift werden Eckpunkte einer empirisch begründeten Begriffsbestimmung entwickelt. Das „verstehende Beobachten“ wird am Begriff des Raumes exemplarisch durchgeführt:

Zu den Grundlagen der Vermessung: Was ist der Raum?

Albert Einsteins Bemerkung, die Vorstellung von Raum als ein von den Dingen unabhängig existierender Behälter sei vorwissenschaftlich [EINSTEIN 1916, S. 88] ist für einen Geodäten eine Provokation, denn in der Praxis misst er Distanzen gerade so, als wären seine Messpunkte in einem behälterförmigen Raum angeordnet. Daher stellt sich die simple Frage, was der Raum dann sei und warum er problemlos die als vorwissenschaftlich disqualifizierte Raumvorstellung zur Grundlage seiner Arbeit machen kann.

Zu den Grundlagen der Geoinformatik: Wie trägt Raum zur Bildung von Verständnis bei?

Raum hat neben dem metrischen auch einen für die Verständnisbildung bedeutsamen Aspekt: „Ein Großteil moderner Wissenschaften stützt sich in Abhängigkeit von ihren Erkenntnisgegenständen und ihren Zielen der Erkenntnisgewinnung bei der räumlichen Einordnung von Erkenntnissen auf unterschiedlich definierte Raumkonzepte.“ [BOLLMANN 2002] Es stellt sich die Frage, wie die gerade in der Mutterdisziplin der Geoinformatik, der Geografie, extensiv gepflegte „räumliche Sichtweise“, das „räumliche Denken als Grundperspektive“, der „Raum als generelles Konzept für das Verstehen und Ordnen der Welt in Alltag, Kunst und Wissenschaft“, die geografische „Fokussierung auf räumliche Verteilungsstrukturen, auf Verbreitungsmuster, auf Regelmäßigkeiten räumlicher Anordnungen“ etc. pp. [gekürzt nach DÜRR 2002] zur Erkenntnisgewinnung beitragen. In welchem Verhältnis steht die Bedeutung räumlicher Beziehungen für unser Verständnis der Welt in (Alltag, Kunst und) Wissenschaft mit den messend erhobenen Größen des Raumes? In der Geoinformatik ist mit dem Raumkonzept das Zentrum des Selbstverständnisses befragt, da der Raumbezug das Ordnungselement der Geoinformationssysteme ist. Ändert sich mit dem Wert einer räumlichen Größe das Verständnis für räumliche Phänomene? Verbunden damit ist auch die Frage, ob der räumliche Abstand ein Attribut wie andere auch ist oder was ihn von diesem unterscheidet.

Zur Visualisierung von Geodaten

Die Art und Weise, wie Geodaten visualisiert werden sollten, ist abhängig vom Verständnis des Wahrnehmungsvermögens: Wenn beispielsweise angenommen wird, aus Sinnesreizen entstünde durch logische Schlüsse Erkenntnis, wird man versuchen, widersprüchliche Sinnesreize zu vermeiden. Wenn man demgegenüber davon ausginge, dass das Verständnis etwas sei, das sich nicht logisch aus den einzelnen Erfahrungen ableiten ließe, würde man versuchen, alle Beobachtungen in einer nicht logischen Synthese miteinander zu verbinden. Welche Grundsätze ergeben sich für die Visualisierung von Geodaten, wenn Wahrnehmung als ein sich selbst organisierender Prozess angesehen wird? Wie subjektiv sind die visuell gewonnenen Erkenntnisse?

Das Verhältnis von Ganzem und Teil

Wissen entsteht im Doppelschritt von Analyse und Synthese. So wird hier versucht, aus verschiedenen Wissensbereichen stammende Erkenntnisse zu einem harmonischen Ganzen zu synthetisieren. Am Rande klärt sich die Frage über das Verhältnis von Ganzem und Teil: Bei der Untersuchung natürlicher Phänomene lassen sich die Teile regelmäßig nicht zum Ganzen zusammensetzen, „das Ganze ist größer als die Summe der Teile“. Dabei handele es sich um „einen Mechanismus, den wir gegenwärtig noch nicht verstehen“ [MÜLLER ET AL. 1997b].

2 Lösungsweg

2.1 Paradigmenwechsel

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden Entdeckungen gemacht, die gegen dessen Ende zu einer wesentlichen Änderung des wissenschaftlichen Weltbildes führten: zum Paradigmenwechsel von der Fremd- zur Selbstorganisation. Zur Einführung kann das Beispiel des von einer Kaffeetasse aufsteigenden Dampfes dienen: Das Aufsteigen des Dampfes erscheint als Folge der Temperaturdifferenz zwischen Flüssigkeit und Umgebung. Aber, zumindest wenn man die Tasse mit der heißen Flüssigkeit unter eine Haube setzte, wäre zu erwarten, dass durch die Verdunstung ein gleichförmiger, unstrukturierter Nebel entstünde. Die deutlich erkennbaren Formen des aufsteigenden Dampfes werden nun nach dem Paradigma der Selbstorganisation als Folge des Zusammenspiels von Flüssigkeit und Umgebung interpretiert. Sie „emergieren“ aus der Selbstorganisation des Systems, während die Erwärmung der Flüssigkeit als Fremdorganisation angesehen werden könnte.

Den Ausgangspunkt des Paradigmas der Selbstorganisation bildet die Beobachtung, dass es sowohl in der belebten als auch in der unbelebten Natur zahlreiche Phänomene gibt, die spontan und von allein, d. h. selbstorganisierend, Strukturen ausbilden und erhalten. Anhand einiger klassischer Beispiele soll der Begriff verdeutlicht werden.

Laserlicht: Führt man einem Laser nur wenig Energie zu, werden etwa nur drei Meter lange Lichtwellenzüge ausgesandt. Ab einem Schwellwert der Energiezufuhr werden statt der kurzen, sehr große Wellenzüge mit zirka 300 000 Kilometer Länge erzeugt. [STEPHAN 1999, S. 233; HAKEN & WUNDERLIN 1990]

Chemische Uhren (Abbildung 2). Das berühmteste Beispiel für eine der zahlreichen Formen chemischer Uhren ist eine von Belousov und Zhabotinsky beschriebene Reaktion, in der die chemische Lösung periodisch ihre Farbe ändert [STEPHAN 1999, S. 233]. Zeitliche Ordnungsstrukturen *biologischer* Systeme werden ebenfalls mit der Vorstellung der Selbstorganisation erklärt [KRAMMER 1990].



Abbildung 2 Chemische Uhren. Darunter versteht man Muster, die durch ein Zusammenspiel komplexer rückgekoppelter Reaktionen in wässriger Lösung gebildet werden. Links: Beispiel der Belousov-Zhabotinsky-Reaktion. Mitte: Muster, die bei der Oxidation von Farbstoffen in wässriger Lösung entstehen, faserartiges Aussehen haben und von geringer Dynamik in der Lösung geprägt sind. Die Ausbildung der Muster in wässrigen Lösungen ist wahrscheinlich auf vertikale Dichtegradienten zurückzuführen. Rechts: Muster, die bei der Oxidation von Farbstoffen in alkoholischer Lösung entstehen, netz- und aderartiges Aussehen haben und eine höhere Strömungsdynamik in der Lösung zeigen. Diese Muster entstehen aufgrund von Gradienten in der Oberflächenspannung. (Quelle: www.educeth.ch/chemie/diverses/orderchaos/selbstorg.html, 7.2. 2003)

Wärmekonvektion. In stark einseitig erwärmten Flüssigkeiten oder Gasen entstehen Muster in Rollen- oder Hexagonalform. Aus einem homogenen Zustand entwickelt sich ein dynamisches, streng geordnetes Muster [HAKEN 1990, STEPHAN 1999, S. 233; MORITZ 1995, S. 167 f.]. Am bekanntesten ist eine auf Bénard zurückgehende Beschreibung dieses Phänomens einer Flüssig-

keit. Diese Vorstellung wird indessen auch in der Meteorologie zur Erklärung von Wolkenstraßen [KRATKY 1990, HAKEN & WUNDERLIN 1990] oder in der Geologie [z. B. http://www.quakes.uq.edu.au/research/sim_quakes3/, 7.2. 2003] verwendet.



Abbildung 3 Bénardzellen. Das Bild zeigt das Temperaturfeld in einer horizontalen Flüssigkeitsebene. Auch wenn sich das Bild irregulär verändert, bleiben die spiralförmigen Konvektionsrollenstrukturen dauerhaft. (Quelle: <http://www.uni-muenster.de/Physik/DEK/FB-Brosch/TP4.jpg>, 17.2.2003)



Abbildung 4 Wolkenstraßen, wie sie aufgrund aufsteigender Wärme und absinkender kalter Luft entstehen. (Quelle: <http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/lit/Nichtlinear/ProzessStruktur.pdf>, 14.2. 2003)

Biokonvektion. Übersteigt der vertikale Dichtegradient motiler aquatischer Mikroorganismen einen kritischen Wert, wird die Schichtung instabil und durch das Wechselspiel von Schwerkraft und Aufschwimmen der Organismen entstehen ausgeprägte Konvektionszellen oder -bänder. Ein nicht aus den einzelnen Organismen vorhersagbarer kooperativer Effekt optimiert die Lebensbedingungen der Gesamtpopulation. [MÜLLER ET AL. 1997b]

Daisyworld. In Lovelocks Gedankenexperiment (1979) existieren schwarz und weiß blühende Gänseblümchen mit unterschiedlichem Absorptionsvermögen, die die Oberfläche in wechselnden Anteilen bedecken. In dem Modell für ein Fließgleichgewicht wird erklärt, dass durch die Kooperation der beiden Arten die Oberflächentemperatur auch bei größeren Schwankungen der Sonnenstrahlung innerhalb eines engen Bereiches gehalten wird. [MÜLLER ET AL. 1997b] Ähnliche Modelle erklären das Einhalten von Grenzwerten in der Größe einer Population durch Räuber-Beutebeziehungen [MÜLLER ET AL. 1997a].

Hörwahrnehmung. In dem Chaos der auf einen Hörer einströmenden akustischen Signale erfassen wir Ordnungen, Regularitäten, Strukturen, Harmonien aufgrund von Selbstorganisationsprozessen der Wahrnehmung. Was bei oberflächlicher Betrachtung als Sinnestäuschung erscheint, entpuppt sich als notwendige Konsequenz einer aktiven Rekonstruktion der Außenwelt. [EULER 1990]

Evolution. Ausgehend von fortpflanzungsfähigen und sterblichen Individuen, denen ein genügender, aber begrenzter Rohstoffvorrat zur Verfügung steht und deren Fitness im Zuge der

Fortpflanzung variiert, kann die Evolution als Selbstorganisationsprozess erklärt werden [LORENZEN 1997].

Musterbildungen in Pflanzenbeständen. Durch ganz unterschiedliche Zusammenhänge können raumzeitliche Verteilungsmuster in Pflanzenbeständen entstehen. [MÜLLER et al. 1997b], [MÜLLER & NIELSEN 2000]

Nanotechnologie. Die Strukturbildung in Selbstorganisationsprozessen kann auf verschiedene Weise technisch genutzt werden. Diese Strukturen reagieren häufig sehr empfindlich auf eine Änderung der Randbedingungen mit Phasenübergängen. Diese können genau gemessen werden. So gestattet beispielsweise der Bénard-Effekt den präzisen Nachweis extrem schwacher Gravitationsfelder. [EBELING 1991, S. 45] Selbstorganisationsprozesse in chemischen Systemen können technisch für die Ausbildung geometrischer Eigenschaften genutzt werden (Abbildung 5).

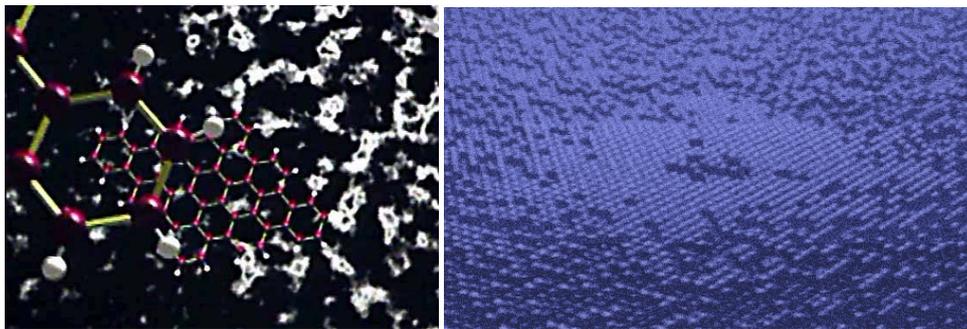


Abbildung 5 Selbstorganisierende Geometrie. Links: Werden Plastikmoleküle elektrisch geladen oder auf eine bestimmte Weise chemisch reaktiv, dann ordnen sie sich von selbst zu regelmäßigen Gittern an (Max-Planck-Institut für Polymerforschung in Mainz). Rechts: Technische Universität Berlin: Innerhalb von wenigen Sekunden ordnen sich auf eine Unterlage aufgedampfte Atome zu absolut regelmäßigen Pyramiden mit einer Höhe von fünf Nanometern, und zwar mehreren Millionen pro Quadratzentimeter. Der Effekt beruht auf der Wechselwirkung zwischen aufgedampften Atomen und Unterlage. (Quelle: <http://www.quarks.de/dyn/3991.phtml>, vgl. <http://www.2000plus.mpg.de/d/137/article/>; 6.3. 2003)

Selbstorganisierende Proteine. Bakterielle Oberflächen bestehen normalerweise aus einem einzigen Protein- oder Glykoproteinstamm, der in der Lage ist, regelmäßige, zweidimensionale Arrays aufzubauen und die Zelle vollständig zu bedecken. Sie bilden einen Teil der Zellhülle solcher Bakterien (Abbildung 7).

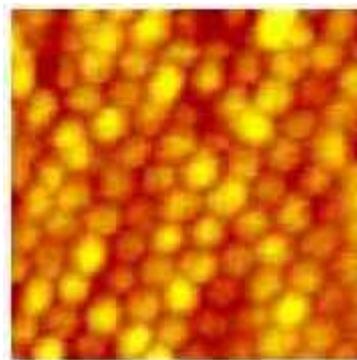


Abbildung 6 Bakterielle Oberflächen zeigen quadratische oder hexagonale Symmetrien mit Porendurchmesser von zwei bis sechs Nanometer. Diese porige Oberflächenstruktur macht die Oberflächen geeignet für Schattenmasken zur Herstellung von Nanostrukturen, die zum Beispiel für zukünftige magnetische Datenspeicherung tauglich wären (Quelle: <http://www.physik.uni-bielefeld.de/experi/d2/nano.htm>, 7.2. 2003).

Stabilitätseigenschaften. Das Ensemble der Individuen, die Population, besitzt ökologische Stabilitätseigenschaften (Konstanz, Resilienz, Persistenz). Deren Ausprägung hängt von den Eigen-

schaften der Individuen, der Art der Wechselbeziehungen und der jeweiligen Umwelt ab. [MÜLLER ET AL. 1997a, MÜLLER & NIELSEN 2000]

Die Beispiele zeigen das in Verbindung mit dem Thema der vorliegenden Arbeit Wesentliche der Selbstorganisation: Ihr Auftreten ist an die Wechselwirkungen zwischen Subsystemen gebunden. Das heißt auch, dass sie nur innerhalb einer hierarchischen Ganzes-Teile-Struktur sichtbar werden. Ihre Untersuchung setzt die Verknüpfung von Betrachtungen in verschiedenen Untersuchungsmaßstäben („Scales“) voraus. Wenn die Interaktionen auf der Ebene des Kollektives nicht bekannt sind, kann die resultierende Kooperation und Dynamik – allein aufgrund der Kenntnisse des Individuums – nicht beschrieben werden [MÜLLER ET AL. 1997b]. Bezogen auf die Makroebene ist das System selbstorganisierend: *Es koordiniert seine Subsysteme*. Mit der Annahme einer koordinierenden Wirkung des Ganzen gegenüber den Teilen legt die nicht nur in der Ökologie und in der Nanotechnologie akzeptierte Vorstellung der Selbstorganisation die gedankliche Bildung von die Erscheinungen prägenden Prinzipien auch in der belebten und unbelebten Natur nahe, ohne damit irgendeine konstituierende Kausalbeziehung zu unterstellen. (These 8) Dies festzustellen ist für wissenschaftstheoretische Diskussionen von grundsätzlicher Bedeutung, denn zahlreiche Autoren hielten die Annahme einer die Teile oder Ereignisse organisierenden Funktion für eine wissenschaftlich unzulässige Behauptung. Die Annahme einer strukturierenden Wirkung des Ganzen gegenüber den Teilen ist ganz im Sinne Kants [KANT 1790, S. B 301] allein ein Prinzip der Reflexion, um die Erfahrung verständlich zu ordnen, also „ohne aus der Natur ein verständiges Wesen zu machen (weil das ungerneimt wäre); aber auch ohne sich zu erkühnen, ein anderes verständiges Wesen über sie, als Werkmeister, setzen zu wollen“ [ebenda, S. B 308]. Hier wird also keine konstituierende Zweckursächlichkeit⁷ behauptet, sondern nur, dass man einen *gedanklichen* Zusammenhang, ein regulatives Prinzip, einen Funktionalbegriff finden kann, der die nicht gedanklichen Sinnesempfindungen als dessen sinnlich wahrnehmbare Erscheinungen verständlich ordnet, wie etwa in einem Ausgleichungssystem die Beobachtungen durch die „Funktion der Unbekannten“ geordnet werden.

Das Vorhandensein von Eigenschaften des Gesamtsystems, welche die Teilsysteme nicht besitzen, wird als „Emergenz“ bezeichnet [MÜLLER ET AL. 1997b, NIELSEN & MÜLLER 2000]. Scheinbar emergieren aus dem Zusammenwirken der als Teile vorgestellten Kompartimente Strukturen und Eigenschaften, die dem System nicht von außen her aufgezwungen wurden, sondern durch das System selbst erzeugt und erhalten werden. Jørgensen & Müller geben das Emergieren von Eigenschaften als Argument an, warum das Ganze größer ist, als die Summe der Teile [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]. Emergenz ist abhängig vom Vergleich unterschiedlich stark gegliederter, hierarchischer, Betrachtungsebenen. Die übergeordnete Ebene zeigt Eigenschaften, die aus den Eigenschaften der Mikroebene nicht vorhergesehen werden können. Die Nichtvorhersehbarkeit ist gleichbedeutend mit einer Nichtableitbarkeit oder Nichtberechenbarkeit.⁸ Das spontane Auftauchen neuer Eigenschaften ist „ein Phänomen das wir zur Zeit nicht erklären können“ [MÜLLER ET AL. 1997b]. Die gewöhnliche Erklärung für das Unverständnis gegenüber emergenten Strukturen ist die Komplexität, die so enorm groß sei, dass sie nicht mehr aufgelöst werden könne. Jørgensen & Müller etwa argumentieren als erstes damit, dass ein typisches Ökosystem aus 10^{15} bis 10^{20} Teilen bestehen würde, von denen einige ihre Eigenschaften bzw. ihr Verhalten mit der Zeit auch noch änderten. Hinzu kämen nicht lineare Verhaltensweisen, hierarchischer Aufbau u. a. m. [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]

Einmal auf von Selbstorganisationsprozessen bestimmte Strukturen aufmerksam geworden, lassen sich leicht weitere finden. Nämlich überall dort, wo statt eines zufälligen, ungeordneten Rau-

⁷ Nüchtern betrachtet sind sowohl Kausalursachen als auch Zweckursachen ohnehin gedankliche Konstruktionen, die von den Beobachtungstatsachen her gleichberechtigt sind. (So auch [KANT 1790, S. B 309].)

⁸ Berechnet werden können nur *Wiederholungsfälle* unter der Annahme, dass aus dem gleichen Bedingungsgefüge regelmäßig die gleichen Strukturen emergieren.

schens erkennbare Strukturen beobachtet werden können: Am Boden eines Griestopfes (Abbildung 7) bei Schneeflocken oder Eisblumen, in geomorphologischen Strukturen ([SCHLICHTING 1994], Abbildung 8) oder in Strömungserscheinungen fächerförmiger Mündungsgebiete von Fließgewässern bis zum Dampf über einer Kaffeetasse. In der Ereigniswelt können geordnete Strukturen erkannt werden. Sie erstrecken sich von riesigen Spiralgalaxien des Weltraums bis zu Atomen und Molekülen. Jedes Lebewesen, vom einfachsten Einzeller bis hin zum Menschen, bietet eine Quelle für die Bildung geordneter Strukturen. Nicht nur alles Lebendige zeichnet sich durch die Entwicklung seiner Gestalt aus. Sie ist das Ergebnis des Zusammenwirkens äußerer Bedingungen und eines inneren Gestaltungsprinzips. Dabei sind aus Sicht der Physik der Selbstorganisation die Gemeinsamkeiten zwischen biotischen und abiotischen Phänomenen groß [SCHLICHTING 1994], so groß, dass scharfe Grenzen nicht bestimmt werden können. Selbstorganisation als Strukturbildung jedenfalls findet in beiden Bereichen statt. Die Vorstellung der Bildung von Eigenschaften „aus sich selbst heraus“ wird heute zur Interpretation biologischer Systeme, Pflanzen, Tiere, Bakterien, der Evolution, zur Interpretation abiotischer Strukturen, Musterbildungen, dynamischer Gleichgewichte, ökologischer Prozesse, zur Erklärung von Krankheiten, sozialen und wirtschaftlichen Strukturen, von Klima und Wetter genutzt [HAKEN & WUNDERLIN 1990], [MÜLLER ET AL. 1997a], [GROSSARTH-MATICEK 2000], [EULER 1990], [CAPRA 1996], [STEPHAN 1999], [HAKEN & WUNDERLIN 1991], [MALIK 1990].



Abbildung 7 Konvektionsströmungszellen im Griestopf. Spuren der Selbstorganisation im Alltag.



Abbildung 8 Geomorphologie. Geomorphologie. In Wüstengebieten entstehen durch den vom Wind transportierten Sand Strukturen verschiedener Größenordnung. Links: Marokko, Sternendünen (Quelle: SATELLITENWELTLAS 1998, S. 164 f.) Mitte: Oberfläche einer Sanddüne, rechts Spuren der Strukturbildung im Gebirge. (Quelle: www.uni-muenster.de/Physik/DP/lit/Nichtlinear/ProzessStruktur.pdf, 14.2.03)

Mit der Vorstellung der Selbstorganisation werden bislang unverstandene Phänomene wie die Mäander-, Delta-, Strudel- oder Wirbelbildung in Gewässern, ein Beispiel siehe in Abbildung 9, das Erhalten ökologischer Fließgleichgewichte bis hin zu typischen Lebensmerkmalen wie die Bildung energiereicher komplexer Eiweiße, Heilung, Wachstum oder Evolutionsprozesse „erklärt“. Sie wird immer häufiger als Erklärung von räumlichen, zeitlichen oder funktionalen Strukturen überhaupt herangezogen. Da liegt es nahe – schon allein aus Mangel an Alternativen –, nicht nur Strukturen, sondern jegliche (natürliche) Eigenschaft, jede Qualität als Produkt der Selbstorganisation anzusehen, von der beeindruckenden Struktur eines Kristalls über den Geruch des Ammoniaks bis zu dynamischen Ordnungsstrukturen in Lebewesen und sozialen Systemen.



Abbildung 9 Flussdelta. Die Struktur ist ein anschauliches Beispiel der mit Fernerkundung beobachtbaren Selbstorganisation von Strömungen. Mit Fernerkundungsmethoden kann auch die Abhängigkeit des Lokalen vom Regionalen, Kontinentalen beobachtet werden. Damit kann zu den Messungen der Beziehungen zwischen den Teilen die Wahrnehmung des Ganzen treten. Luftbild des Mündungsgebietes des Deep Creek, Westaustralien. Gelb ist Sand, Grün sind Mangroven. (Quelle: [EDMAIER 1999])

Das Prinzip der gleichzeitigen und gegenseitigen Beeinflussung einander über- bzw. untergeordneter Faktoren zur Bildung von Strukturen ist auch aus anderen Wissensbereichen bekannt, auch wenn das Wort „Selbstorganisation“ nicht verwendet wird. Ein solcher Bereich ist die Erkenntnisbildung. In ihr fließen sinnliche Wahrnehmungen und gedankliche Inhalte ineinander. Dies klar dargestellt zu haben, ist das Verdienst von R. Steiner (1861–1925). Den Durchbruch dieses Gedankens in der etablierten Wissenschaftswelt erreichte jedoch erst Kuhn mit seiner 1962 veröffentlichten Wissenschaftsgeschichte „Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen“. [KUHN 1962] Der Gedanke, dass wir mit unserem Wissen nicht eine äußere Welt in einer eindeutigen Beziehung fotografisch abbilden, sondern dass wir es sind, die die Gegenstände, deren Beziehungen uns in den Natur- und Technikwissenschaften beschäftigen, erst zu Gegenständen machen, zog eine umfangreiche Auseinandersetzung von Philosophen, Wissenschaftshistorikern und anderen Wissenschaftlern mit dem Wert ihrer Erkenntnisse nach sich: Wissenschaftshistorisch befinden wir uns gerade mitten im Paradigmenwechsel von der Fremd- zur Selbstorganisation [KRATKY 1990]. Mit der vorliegenden Arbeit erreicht das neue Weltbild die Geoinformatik und die Aufgabenstellung eine Präzisierung: Wie können aus sinnlich wahrnehmbaren Bildmerkmalen begriffliche Zusammenhänge erfasst werden, wenn Beobachtetes und Beobachtung als selbstorganisiert angesehen werden?

Diese Einführung in die Vorstellungswelt der Selbstorganisation ist im Zusammenhang der vorliegenden Arbeit auch in folgender Hinsicht relevant: Erstens wird eine Art von Phänomenalismus in der Methode der Ökosystemforschung sichtbar: Phänomene werden nebeneinander gestellt, ohne sie als Kausalgefüge erklären zu können oder zu müssen. Das Paradigma der Selbstorganisation entbindet von der Pflicht, alle Phänomene als Ursache-Wirkungsgefüge zu interpretieren. Zweitens ist es wissenschaftlich legitim, zur gedanklichen Reflexion der Erfahrungen nach einem regulierenden Prinzip zwischen den Erfahrungen zu suchen.

2.2 Zur Methode

Sehen wir auf das Umkehrbild in Abbildung 10.



Abbildung 10 Vase oder Gesichter? Die physische Realität lässt beide Interpretationen zu. Für welche sich der Beobachter entscheidet, liegt nicht in den Einzelheiten des Objektes. (Quelle: <http://www.brl.ntt.co.jp/IllusionForum/basics/art/rubbin-e.html>, 10.1.2007)

Man kann ein und dieselbe Vorlage als Vase oder als gegenüberstehende Gesichter interpretieren: Denkt man eine Vase, erkennt man eine Vase, denkt man gegenüberstehende Gesichter, erkennt man Gesichter. Die Erfahrung, dass Farben und Formen der Vorlage feststehen, ihre begriffliche Interpretation jedoch mehrere Deutungsmöglichkeiten zulässt, führt zur Auswahl einer solchen Untersuchungsmethode, die zwischen dem Gegebenen und der Interpretation unterscheidet, wie es das Primat der Erfahrung in der neuzeitlichen Wissenschaft bekanntlich fordert. Die Notwendigkeit dieser Unterscheidung ergibt sich auch aus der Philosophie ([STEINER 1892], [HUSSERL 1907]), in der modernen Physik [EINSTEIN 1916], in der Wissenschaftstheorie [KUHN 1962] und in der Wahrnehmungspsychologie [GOLDSTEIN 1997], in der die Abhängigkeit von Beobachtetem und Beobachter explizit thematisiert worden ist. Der konsequente Beginn bei noch nicht interpretierten Beobachtungen wird zum methodischen Grundsatz dieser Arbeit erhoben. Er unterscheidet die vorliegende Untersuchung von anderen, der äußerst zahlreichen Abhandlungen zur Bildung von Erkenntnis und Verständnis. Diesem Grundsatz entsprechend tragen die Literaturzitate, sofern sie nicht auf phänomenologische Untersuchungen wie [SCHEURLE 1984], [GOETHE 1810] oder [MAIER 1986] verweisen, keinen autoritären Charakter, der eine Prüfung hinfällig machen würde. Mit ihnen wird vielmehr das Ziel verfolgt, vielfältige Querverbindungen aufzuzeigen, wie es für die hier angestrebte Verständnisbildung unverzichtbar ist. Darüber hinaus dienen Literaturverweise der Wahrung des Urheberanspruchs.⁹

Die visuelle Interpretation tangiert ein sehr weites Feld – von Erkenntnisphilosophie und Wissenschaftstheorie über Kognitionsforschung, Kunstrezeption und Wahrnehmungspsychologie bis zu Algorithmen der sogenannten „künstlichen Intelligenz“: Sowohl bei der Interpretation von Daten der Fernerkundung, bei der Interpretation von Karten, Diagrammen oder sonstigen Visua-

⁹ Anmerkung: Wenn Literaturverweise nichts belegen, sondern erläutern sollen, wird der Verweis auf - möglicherweise temporäre - Internetquellen für legitim und zur Wahrung des Urheberanspruchs für eine Frage der Fährnis gehalten. Desgleichen Wikipedia, Presse, Funk und Fernsehen: Auch hier wird der Inhalt durch den Verfasser verantwortet, der Verweis dient der Wahrung des Urheberrechtes.

lisierungen als auch bei unmittelbarer Beobachtung oder in der Kunstrezeption werden aus sinnlichen oder gedanklichen Bewusstseinsinhalten gedankliche Zusammenhänge entwickelt. Diese Breite der Wissensbereiche führt zu einem überwiegend synthetisierenden und weniger analysierenden Charakter der Arbeit.

Wäre der Bearbeitungsgegenstand ein anderer, beispielsweise die mathematische Modellierung oder die digitale Objekterkennung, könnte die Entscheidung anders ausfallen: Der Ingenieur tritt an seinen Gegenstand heran, interpretiert ihn aus der Sichtweise einer bestimmten Absicht und nimmt mit ihm mannigfaltige Operationen mit dem Ziel eines bestimmten Ergebnisses vor. Diese Herangehensweise ist das, was Technikorientierung, also das auf technische Nutzung ausgerichtete Erkennen, nicht das auf Erkenntnis gerichtete Denken, schlechthin auszeichnet. Mit dieser Herangehensweise können Fragen nach dem, was etwas ist, nicht beantwortet werden. An die Stelle der fehlenden, vom Objekt bestimmten Antworten treten Analogien und Modelle die per definitionem die Sache selbst durch ein ihr eigentlich fremdes Modell ersetzen. A priori-Definitionen und Paradigmen legen fest, was etwas – für den Bearbeiter – sein soll.

Eine Vorwegnahme der Bestimmung dessen, was etwas ist, ist Voraussetzung, um durch Quantifizierungen zu Erkenntnissen zu gelangen, was Galileo Galilei (1564–1642) für unverzichtbar hielt, als er ausführte „Wer naturwissenschaftliche Fragen ohne Hilfe der Mathematik lösen will, unternimmt Undurchführbares. Man muss messen, was messbar ist, und meßbar machen, was noch nicht meßbar ist.“¹⁰ Damit wies er den Weg zu den exakten Wissenschaften. Um messen oder zählen zu können, muss zuerst festgelegt werden, was unter welchen Umständen wie gemessen wird.

Eine Vertiefung der Begründung ergibt sich in den nachfolgenden Kapiteln. Dieser Verweis auf einen späteren Abschnitt markiert ein Dilemma: Das vorrangige Ziel dieser Arbeit besteht in der Bestimmung einer Untersuchungsmethode, die aber in dieser Arbeit bereits praktiziert werden soll. Dieser gordische Knoten ist typisch für einen sich selbst organisierenden Erkenntnisprozess.

2.3 Gedankengang der Abhandlung

Die Abhandlung beginnt mit der Darstellung des Wahrnehmungsprozesses aus Sicht eines phänomenologischen Verständnisses (Kapitel 3). Davon ausgehend wird die Wissenschaftsmethode von Analyse und Synthese einer kritischen Betrachtung unterzogen (4). Dies bietet sich auch für andere Naturzugänge an. Daher werden in Kapitel (5) auch Ästhetik und Kunst hinsichtlich ihrer Eignung zur Naturerkenntnis aus der Perspektive eines konsequenten Empirismus beurteilt. Modellbildung ist fester Bestandteil naturwissenschaftlicher Arbeit. Ihr Beitrag zur Verständnisbildung wird in Abschnitt 4.2.7 ausgelotet. Aus diesen Vorbereitungen resultieren Eckpunkte einer Untersuchungsmethode (6), welche anschließend zur Bestimmung des Raumbegriffes herangezogen werden (7). In Kapitel 8 wird die Interpretation von Fernerkundungsdaten als zweifache Spezialisierung¹¹ der in Kapitel 3 dargelegten Grundlagen der Wahrnehmung beschrieben. Aspekte der Lehre (9) vervollständigen die Darstellung. In einen Satz gebracht, bereiten die unmittelbar anschließenden Abschnitte die Beobachtungsmethode (Kapitel 6) vor, die dann praktiziert und in Beziehung zur Fernerkundung gesetzt wird.

2.4 Notwendigkeit erkenntnistheoretischer Reflexionen

Verstehen heißt, einen Sachverhalt aus äußerlich gegebenen, sinnlich wahrnehmbaren Zeichen, gedanklich zu begreifen. Die inhaltlichen Zusammenhänge können von ihren sinnlich wahr-

¹⁰ Zitiert nach [HEMLEBEN 1981].

¹¹ Erstens ist das Bildverstehen ein Spezialfall des Verstehens überhaupt, zweitens ist das Verstehen visualisierter Fernerkundungsdaten eine Spezialisierung des in Kunst, Kartographie oder medizinischer Bildanalyse praktizierten Bildverstehens.

nehmbaren oder messbaren Merkmalen unterschieden werden, wie etwa die Bedeutung eines Wortes von Farbe, Form und Größe der Buchstaben. Das Verständnis eines Sachverhaltes bedarf inhaltlicher Beziehungen zwischen einzelnen Beobachtungen dieser Sache und zu anderen Teilen des Verständnissystems. Die Verbindung zwischen den äußeren Merkmalen und der bewussten Erfassung der begrifflichen Beziehungen eines Objektbereiches ist Gegenstand der Erkenntnistheorie. Die Gewinnung und Bearbeitung der Daten mit Fernerkundung und Geoinformatik ist rein formal, äußerlich. Daher bedarf es eines Bindegliedes, welches zwischen den Daten und ihren inhaltlichen Beziehungen vermittelt. Diese Verhältnisse sind nun nicht Gegenstand der Technikwissenschaften, sondern der Wissenschaftstheorie und der Erkenntnisphilosophie.¹² Wenn es wirklich wichtig ist, wie es nicht zuletzt aus ökologischen Gründen jetzt den Anschein hat, Natur zu erkunden, wie sie ist, und nicht, wie wir sie simulieren, handhaben oder nutzen können, dann müssen die Voraussetzungen der mit Fernerkundung gewonnen Erkenntnisse offengelegt werden. Hier „ist es Aufgabe philosophischer Reflexion, Vorurteile bloßzustellen und neue Sichtweisen zu ermöglichen.“ [JONAS 1979]. „Das Studium der Philosophie hat [dabei – d. Verf.] nicht den Sinn, zu erfahren, was andere gedacht haben, sondern zu erfahren, wie die Wahrheit der Dinge sich verhält.“ [THOMAS VON AQUIN 1272]

¹² Als gut verständliche Einführung in traditionelle und moderne Vorstellungen der benachbarten Naturphilosophie kann – gerade für technisch Vorgebildete – [MORITZ 1995] empfohlen werden. Auch das Paradigma der Selbstorganisation ist dort zu anderen Auffassungen in Bezug gesetzt.

3 Aspekte der Wahrnehmung

Die Wechselbeziehung zwischen unserem bewussten Selbst und der Welt wird durch unsere Sinne vermittelt. Sinnliche Wahrnehmung ist daher die Voraussetzung für jede Erkenntnis. Beruhte das im Umfeld der Geoinformatik vermittelte Verständnis der Wahrnehmung bis vor wenigen Jahren ganz vorzüglich auf den naturwissenschaftlichen Erkenntnissen menschlicher Physiologie (spektrale, radiometrische und geometrische Empfindlichkeit der Augen) und auf hypothetischen Interpretationsmechanismen, treten nun neuere Verständnisweisen in den Vordergrund, wie Harris et al. dies in Bezug auf die von Helmholtz (1821–1894) begründete Theorie der Farbwahrnehmung festgestellt hatten [HARRIS ET AL. 1999]. Grundlegende Änderungen der Vorstellungen zur Sinnesphysiologie betreffen bei Weitem nicht nur die Farbwahrnehmung:

„Es wurden neue Theorien entwickelt, die nicht nur die Funktionsweisen der einzelnen Sinne, sondern auch den Wahrnehmungsvorgang an sich zum Gegenstand haben. Die im 19. Jahrhundert übliche Auffassung, nach der Reiz und Reaktion voneinander getrennt sind – eine Theorie, die von dem Physiologen Müller und dem Physiker Helmholtz entwickelt wurde –, wird heute als inadäquate Erklärung für die sinnliche Wahrnehmung betrachtet“ [LUTZKER 1996, S. 19]

– und ist durch eine Auffassung von Wahrnehmung ersetzt worden, die Wahrnehmung als aktiven Vorgang des Suchens nach ihrem Sinn versteht. Weil die Wahrnehmungsprozesse die Grundlage jeglicher Wissenschaft sind, wird das Verstehen des Wesens sinnlicher Wahrnehmung zur Voraussetzung für die Untersuchung aller Erscheinungen. Erst das Verstehen der sinnlichen Wahrnehmung vermag die mannigfaltigsten geistigen Operationen der wissenschaftlichen Forschung über eine beliebige Aussage über die Dinge zu erheben.

In der Geoinformatik ist das Wahrnehmungsvermögen vor allem dann von Bedeutung, wenn erhobene oder aufbereitete Daten sinnlich erfasst werden sollen. Dies sind die Bereiche der Kartografie, der Visualisierung von Geodaten und die visuelle Interpretation von Fernerkundungs- oder anderen Daten. Wegen der besonderen Eignung des Gesichtssinnes zur Erfassung komplexer Informationen, zur intuitiven Verstehbarkeit auch ursprünglich nicht räumlicher Phänomene nimmt der Gesichtssinn eine herausgehobene Stellung ein. Quantitative Daten ganz unterschiedlicher Art wie beispielsweise Strahlungsintensitäten, Temperaturen oder Fehlervektoren werden zur Unterstützung der Erkundung, des Erkennens und des Erklärens von Strukturen und Prozessen in sichtbare Bilder oder Bildsequenzen umgewandelt.

Auch wenn der Gesichtssinn klar im Mittelpunkt des Interesses steht, wird eine Überblicksdarstellung der Sinneswahrnehmung insgesamt erforderlich, da erstens alle Sinne miteinander verbunden sind (beispielsweise werden Farben in bestimmten *Richtungen* und mit *bewegten* Augen beobachtet), weil zweitens in multimedialen Kommunikationsformen weitere Sinne von Interesse sind. Und drittens wird eine allgemeine Sinneslehre geboten, weil nicht nur Analogien aus dem Sprachverstehen (siehe [BÄHR 2001 oder 2005]), sondern auch aus allen anderen Sinnesbereichen für das Verständnis (oder die Automatisierung) der Bildinterpretation anregend sein könnten. In letzter Linie wird eine Rezeption wesentlicher Aspekte der Wahrnehmung für ein Grundverständnis des Erkenntnisprozesses für unabdingbar gehalten. Für eine Vertiefung wird auf die angegebene Literatur verwiesen.

Bereits bei der Bestimmung der einzelnen Sinne und ihrer unterschiedlichen Anzahl zeigt sich ein starker Einfluss der Untersuchungsmethode: Aristoteles verband die Betrachtung der Sinnesorgane mit den menschlichen Erfahrungen und gelangte so zu den klassischen fünf Sinnesorganen Auge, Ohr, Nase, Zunge und Haut. Diesen Sinnesorganen wurden Körperorgane zugeordnet. Neuere Forschungen weisen darüber hinaus ein Gleichgewichtsorgan, einen Sinn für Wärme oder für Wahrnehmungen des Wohlbefindens nach [CAMPENHAUSEN 1993, S. 4]. Ausgangspunkt hierfür ist weniger das Ausmachen eines entsprechenden Körperteiles als vielmehr eine Analyse des Erlebnisfeldes. Das Ausgehen von der unmittelbaren Erfahrung, etwa dem Erlebnis der Farbe, kommt einer phänomenologischen Betrachtungsweise entgegen. Da sich nicht alle menschi-

chen Erlebnisbereiche mit den klassischen fünf Sinnen erklären lassen, steigt die Zahl differenzierbarer Sinnesmodalitäten auf Acht und darüber, je nach Erkenntnisstand oder Autor. Bei der von Scheurle praktizierten phänomenologischen Methode ergibt sich das Sinnessystem allein aus der Unterscheidung unähnlicher und unabhängiger Wahrnehmungsbereiche. (These 13) So gelangt er zu einer Vielfalt von zwölf einzigartigen Sinnesqualitäten, mit anderen Kriterien wird sich eine andere Sinnesanzahl ergeben. Durch den Tastsinn kann das Raue, Glatte, Weiche oder Harte erfahren werden; durch den Lebenssinn bemerken wir Wohlbefinden und Schmerz; durch den Bewegungssinn Änderungen unseres Zustandes; durch den Gleichgewichtssinn die Richtungen oben, unten, vorn, hinten, links und rechts sowie gemeinsam mit anderen die Schwere eines Gegenstandes; das Auge gewahrt Farben, die Zunge geschmackliche Eigenarten; dem Ohr offenbaren sich Töne und Geräusche; durch den Gedankensinn vernehmen wir den Sinn gedanklicher Inhalte. Jeder Sinn erschließt in sich differenzierte Erfahrungen. Man hört verschiedene Töne, sieht verschiedene Farben. Differenzierungen sind die eigentliche Aufgabe der Sinne, nicht Absolutangaben, einem Messgerät entsprechend. Durch sie wird es möglich, Beobachtungen zu verfeinern und zu analysieren.

Gegenstand der auf Helmholtz zurückgehenden Untersuchungen zur Wahrnehmung sind die physikalischen Elemente (bspw. Schwingungen, Wellen), die eine Wahrnehmung vermitteln würden. Dies erklärt jedoch nicht, wie aus physikalischen Größen letztlich die Wahrnehmungen gebildet werden. Die Helmholtz nachfolgenden Forschungen zur Sinnesphysiologie im 19. und 20. Jahrhundert stehen vor dem gleichen „Leib-Seele-Problem“. Eine gesunde Physiologie ist zwar eine notwendige Voraussetzung für das Sehen, sie allein genügt aber nicht. Daher kann auch aus einer Analyse der Physiologie des Auges, des Nervensystems und des Gehirns keine zufriedenstellende Erklärung menschlichen Sehens, d. h. des Zusammenhanges zwischen Gehirnprozessen und Bewusstsein erwachsen. „Bis heute gibt es niemanden, der das Phänomen Bewußtsein auf der Grundlage der Gehirnfunktion plausibel erklären könnte. Möglicherweise steht die Naturwissenschaft an diesem Punkt auch vor einem grundsätzlichen Problem.“ [MARKOWITSCH 1996] Auch

„J. J. Gibson war überzeugt, dass die Untersuchung des Netzhautbildes nichts hergebe, weil unsere Wahrnehmungen meist nicht dem entsprechen, was sich auf der Netzhaut abbildet ... Gibson glaubte, daß wir Wahrnehmung verstehen können, ohne die Verarbeitung zu berücksichtigen ... Gibson verfocht vielmehr das Konzept der unmittelbaren Wahrnehmung: Die Wahrnehmung entsteht unmittelbar, direkt aus der Information, die der optischen Anordnung entnommen wird ... Wahrnehmung ist daher nach Gibsons Ansicht kein Konstruktionsprozeß, sie entsteht *unmittelbar* aus der Information der optischen Abbildung ... Das Modell fand Anhänger und Kritiker.“ [GOLDSTEIN 1997, S. 251 f.]

Andere Erklärungen zur Wahrnehmung weisen einen Mangel auf, der sie für eine Referierung an dieser Stelle disqualifiziert: Sie sind nicht voraussetzungsfrei. Insbesondere unterstellen sie eine Dualität von Wahrnehmung und Denken. Durch die Ausgliederung des Denkbereiches aus der Sinneswelt wird eine scheinbar unüberwindbare Kluft zwischen Wahrnehmen und Denken postuliert. Diese Kluft tritt im ungelösten Leib-Seele-Problem zutage: Wie können Inhalte der Wahrnehmung in das Denken gelangen? Oder konkreter: Welche Transformation macht aus einer gesehenen Farbe Rot die Vorstellung Rot? Dieses Problem besteht nicht, wenn der Allgemeinbegriff „Wahrnehmung“ uneingeschränkt für die Gesamtheit der Erfahrung gültig bleibt.

„Statt einer phänomenal nicht gegebenen und methodologisch nicht begründbaren Transformation zwischen Denken und anderen Erfahrungsbereichen, ist das Verhältnis von Denk- zu anderen Sinneswahrnehmungen vielmehr dasjenige aller ‚Synästhesie‘ genannten Sinneskorrespondenzen“ [SCHEURLE 1984, S. 43].

Um von hypothetischen Theorien möglichst unabhängig zu sein, wird einem phänomenologischen Untersuchungsansatz der Vorzug gegeben. Daher folge ich vorrangig der phänomenologisch angelegten Darstellung „Die Gesamtsinnesorganisation“ von Scheurle [SCHEURLE 1984].

Wesentlich für einen phänomenologisch gebildeten Begriff der Wahrnehmung ist die Unmittelbarkeit des Erlebens, das reine Gegebensein [HUSSLER 1907, III, S. 20 und 30]. Wahrnehmungen zeigen sich, wenn ihnen Aufmerksamkeit oder ein waches Bewusstsein zugewendet wird. Allen Erfahrungen ist über das Spezifische der einzelnen Wahrnehmungen, des Hörens, Sehens, Rie-

chens usf., hinweg eine Erfahrung ihrer Gegenwart gemeinsam. Wahrnehmung heißt nicht Erinnertes oder Erwartetes, sondern eine unmittelbare Aktualität. Wahrnehmung ist in dieser weiten Bedeutung ein Oberbegriff, der alles Wahrgenommene auf einen gemeinsamen Nenner bringt.

Neuere Untersuchungen der Wahrnehmungspsychologie regen an, die bewusste Wahrnehmung als Fusion verschiedenartiger Sinnesmodalitäten, des Sehsinnes, des Hörsinnes, des Bewegungssinnes usw. zu sehen. Phänomenologisch gelangt man zu derselben Erkenntnis, dem Zusammenwirken der verschiedenen Sinne, von der Beobachtung her: Die Gliederung der Wahrnehmung in verschiedene Sinnesmodalitäten ist eine vom Subjekt für die Untersuchung vorgenommene, rein gedankliche Unterteilung; ohne die vom Menschen vorgenommene Gliederung erfährt man eine Gesamtwahrnehmung (siehe Abschnitt 3.2).¹³

Der Beitrag des Denkens am Zustandekommen der Wahrnehmung ist von zentraler Bedeutung für das Verständnis der Wahrnehmung. Er steht im Mittelpunkt des kommenden Abschnittes.

3.1 Sinnes-Erkennen – der Beitrag des Denkens

Sucht man in der wahrnehmungspsychologischen Literatur nach Erklärungsansätzen, stößt man auf eine kaum zu überschauende Vielfalt. Folgt man den Lehrbüchern von Goldstein [GOLDSTEIN 1998] oder auch Kebeck [KEBECK 1994], lässt sich als Gemeinsamkeit erkennen, dass für die Einordnung von Sinneswahrnehmungen in einen Verständniszusammenhang einzelne Sinnesreize zu einer ganzen Gestalt zusammengesetzt werden. Wie diese Zusammensetzung erfolgt, beantworten verschiedene Theorien unterschiedlich. Die Gestalttheorie beschreibt in ihren Gestaltgesetzen, welche Erscheinungen auf welche Weise als Einheit oder Gruppierung in räumlicher oder zeitlicher Ausdehnung erlebt werden. Die Gestaltgesetze geben die Bedingungen an für das Zustandekommen der Ordnungen, wie sie durch das Denken gegeben sind. Die wichtigsten von über einhundert Gestaltgesetzen sind: das Gesetz der guten Gestalt, Gesetz der Geschlossenheit, Gesetz der Gleichartigkeit, Gesetz der Nähe, Gesetz der guten Kurve, Gesetz der Symmetrie, Gesetz der Konvexität [STRÜBER 1987]. Die Gestaltgesetze sind *ein* Erklärungsmodell der Wahrnehmung. Andere Modelle unterstellen eine hierarchische Abstraktion der Empfindungen in mehreren Stufen zu immer komplexeren Einheiten (Bottom-up-Strategien) oder eine kontextgesteuerte Zerlegung (Top-down-Strategien). Wieder andere Autoren gehen von einer Kombination beider Strategien aus [GOLDSTEIN 1997, 163 ff.].

Um den Beitrag des Denkens phänomenologisch zu erkunden, wende ich mich den so genannten Umkehrbildern zu. Sie machen deutlich, dass das, was wir sehen, abhängig ist, von dem Interpretationsmuster, das wir an die Sinnesempfindung herantragen. Im Beispiel (Abbildung 10) lässt sich das physikalisch identische Objekt sowohl als Vase als auch als zwei gegenüberstehende Gesichter interpretieren. Je nachdem aus welcher Sicht das Objekt angesehen wird, erkennt man etwas Unterschiedliches. Das Wahrnehmungs- oder Interpretationsmuster ist für das, was erkannt wird, bestimmend. Der Zusammenhang zwischen der Sichtweise und dem Ergebnis ist auch aus dem Alltag bekannt: Man kann etwas aus verschiedenen Perspektiven sehen (Täter/Opfer, Optimist/Pessimist, Akteur/Zuschauer, von vorn/von hinten, causa finalis/causa efficiens, Ökologe/Tourist/Manager/Anwohner) und gelangt zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ein anderes Beispiel zeigt die Abhängigkeit der Interpretation vom Denken auch in der modernen Naturwissenschaft auf: Jammer berichtet von einem der wichtigsten Experimente bei der Entscheidung über das Vorhandensein eines absoluten Raumes, wie ihn neben anderen Newton

¹³ Wer den phänomenologischen Anspruch ernst nimmt, darf als Ausgangspunkt für eine Untersuchung der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten eine entsprechende Untersuchung mindestens des hier relevantesten Sinnes, des Sehsinnes, erwarten. Die Empfindung von Farben und Helle ist phänomenologischen Ansprüchen voll gerecht werdend umfänglich in Goethes „Farbenlehre“ [GOETHE 1810] untersucht, einschließlich der auf das Subjekt bezogenen Wirkungen. Monoskopisches und stereoskopisches Sehen ist unter phänomenologischen Gesichtspunkten von Maier [MAIER 1986] dargestellt. Daher kann hier auf diese verwiesen werden.

postuliert hatte; dem Michelson-Morley-Experiment. Der niederländische Mathematiker und Physiker Hendrik Antoon Lorentz (1853–1928) hatte 1904 dieses Experiment ganz im Sinne eines absoluten Raumes gedeutet. Seine Deutung erfüllt alle physikalischen Anforderungen. Doch der Michelson-Morley-Versuch diente auch als Ausgangspunkt für die Entwicklung der Relativitätstheorie, da Einstein ihn in völlig verschiedener Richtung deutete, die mit der Annahme eines absoluten Raumes unvereinbar ist. Beide Deutungen, so erkannte man, geben eine vollständige Erklärung aller Beobachtungen, die zu Beginn des 20. Jahrhunderts bekannt waren. [JAMMER 1980, S. 160]¹⁴ Ein anderes Beispiel für die Mehrdeutigkeit experimenteller Beobachtungen ist die Entwicklung alternativer Theorien der Elektrodynamik durch Ampere und Faraday nach der Entdeckung der Wechselwirkung von Elektrizität und Magnetismus [STEINLE 2002].

Diese dominierende Rolle des Denkens gilt jedoch nicht für Alles, was wahrgenommen wird. Sie gilt nicht für den Affekt, denn nach [ZAJONC 1980] ist es naheliegend, dass Affekt und kognitives Denken unter der Kontrolle separater und teilweise unabhängiger neuronaler Systeme stehen. Ich untergliedere daher Wahrnehmung in Sinnes-*Empfinden* (Abschnitt 3.3) und Sinnes-*Erkennen*. Letzteres ist auf ein Etwas gerichtet und somit transitiv und intentional. Zur Wahrnehmung gehört also neben der begrifflichen Bestimmung, dem Sinneserkennen, auch die unmittelbare Sinnesempfindung, Perzeption oder Affekt genannt. Die durch unmittelbare Sinnesempfindung gewonnenen Qualitäten unterliegen zunächst keiner variablen (begrifflichen oder sonstigen) Deutung oder Wertung: Das erlebte Rot ist eine ganz bestimmte Erfahrung, einzig falsch könnte die begriffliche Deutung sein, die Erfahrung ist so wie sie ist, die Sinne trügen nicht. (These 2) Die Sinnesempfindungen sind die elementaren Anfänge der Wahrnehmung. Davorliegende elektrische oder sonstige Reize sind vom phänomenologischen Standpunkt eine Fiktion, die gebildet wird,

„wenn wir auf unser Wahrnehmen reflektierend, zum Ausdruck zu bringen suchen, daß es niemals unser eigenes Werk ist. Die als Wirkung von Reizen auf unseren Körper definierte reine Empfindung¹⁵ ist ein ‚Endprodukt‘ unserer Erkenntnis, und zwar unserer wissenschaftlichen Erkenntnis, es ist bloß eine – sehr natürliche Täuschung, die sie uns an den Anfang setzen und aller Erkenntnis vorgängig glauben lässt. Es ist dies die notwendige, aber auch notwendig trügerische Weise, in der der Geist seine eigene Geschichte sich zur Vorstellung bringt.“ [MERLEAU-PONTY 1945, S. 59].

Ganz am Anfang des Erkenntnisprozesses haben also die Sinnesempfindungen zu stehen. Sie sind nahezu frei von jeder Interpretation und jeder Theorie.

Das Sinneserkennen wird vom Denken maßgeblich beeinflusst: Das Interpretationsmuster bestimmt, was wir *erkennen* (nicht: wie wir empfinden). Scheurle hält es für das *Erkennen* für geradezu charakteristisch, „daß die einzelnen Qualitäten dabei vernachlässigbar sind“ (These 12) und es „umgekehrt keine ausschlaggebende Rolle spielt, welchem Erkenntniszusammenhang eine empfundene Qualität angehört“. Die spezifische Qualität bleibe unabhängig davon, ob wir die Empfindung Blau dem Anblick des heiteren Himmels über uns oder dem physischen Nachbild der Farbe Orange zuordneten. [SCHEURLE 1984, S. 55]. Und die Unabhängigkeit der begrifflichen Bestimmung von den aktuellen Eigenschaften ist so groß, dass beispielsweise eine Melodie ganz unabhängig von dem Instrument, von dem sie gespielt wird, erkannt werden kann, oder, um ein anderes Beispiel zu nennen, eine Flusslandschaft in einem Satellitenbild unabhängig von ihrer farblichen Darstellung: „Innerhalb gewisser Grenzen wird das gleiche Objekt im Luftbild richtig

¹⁴ Vgl. [EINSTEIN 1916, S. 78]: „Es kann nun zu demselben Komplex von Erfahrungstatsachen verschiedene Theorien geben, die sich sehr bedeutend voneinander unterscheiden.“

¹⁵ Merleau-Ponty verwendet die Begriffe „Empfindung“ und „reine Empfindung“ in einem anderen als dem hier gebrauchten Sinn: „Empfindung“ und „reine Empfindung“ beziehen sich bei ihm auf etwas jenseits des Wahrnehmbaren liegendes. In seinem Sinn heißt es: „Die Empfindung gehört in den Bereich des Konstruierten.“ Im Kontext des hier Vorliegenden bezeichnen „Empfindungen“ und „reine Empfindungen“, aber auch „Perzeptionen“ und „Affekte“ eben das tatsächlich beobacht- und wahrnehmbar Empfundene, nichts Konstruiertes. „Wahrnehmung“ schließt hier neben der Erlebniseigentümlichkeit auch gedankliche Einordnungen in Verständniszusammenhänge und das willentliche Verwirklichen der Wahrnehmung ein.

gedeutet, unabhängig davon, ob das Bild mit oder ohne Filter aufgenommen, ob es über- oder unterbelichtet und ob es mit panchromatischem oder Farbfilm aufgenommen wurde. Das gleiche gilt für die Betrachtung eines Objektes aus unterschiedlicher Entfernung, bei verschiedener Beleuchtung und Blickrichtung.“ [SCHNEIDER, S. 1974, S. 168 und 169] Nicht nur eine Idee kann in verschiedenen Erscheinungsweisen erkannt werden, sondern es gilt auch die Umkehrung: Eine Erscheinung kann ganz unterschiedliche Bedeutungen haben (siehe auch Abschnitt 4.2.6).

Zu den Konstituenten des Erkenntnisprozesses gehört einerseits die Sinnesempfindung, andererseits die begriffliche Einordnung in einen bestimmten Verständniszusammenhang sowie drittens die vorsätzliche Absicht, etwas wahrzunehmen, die „Sinnes-Intention“. Sie äußert sich in der Lenkung der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Inhalt: Kein Empfinden ohne Empfundenes, kein Sehen ohne Gesehenes, kein Denken ohne Gedachtes – die Aufmerksamkeit ist auf ein Etwas gerichtet. Zwei Beispiele: Die Absicht zur Wahrnehmung entscheidet darüber, ob wir die Gardine, das Glas der Fensterscheibe oder die Straßenszene, die alle auf einer optischen Achse liegen, wahrnehmen. Ohne Aufmerksamkeit wird auch bei geöffneten Ohren nichts gehört.

Wenn die Möglichkeit besteht, vorsätzlich bestimmte Erfahrungen herbeiführen zu können, was als „Intentionalität“ der Wahrnehmung bezeichnet werden kann, dann ist diese Möglichkeit die Grundlage Träume, Illusionen oder Wünsche von einer Wirklichkeit zu unterscheiden: Die Unterscheidung zwischen Trug und Wirklichkeit erfolgt anhand bestimmter Inhalte des (traumhaft oder real) erlebten Geschehens. Ist etwa die Wahrnehmung eines Geräusches zweifelhaft, lenken wir die Aufmerksamkeit auf das Gehör. Ob dem Geräusch Realität zuerkannt wird, richtet sich danach, ob die gefragte Erfahrung wieder auftritt. Durch Zuwendung auf einen bestimmten Sinnesbereich bildet dieser für die Dauer der vorsätzlich herbeigeführten Wahrnehmung das Wirklichkeitskriterium. Kraft der Fähigkeit, Wirklichkeit von Träumen, Phantasien, Illusionen zu unterscheiden, weiß man von der Wirklichkeit¹⁶. Diese Fähigkeit ist die „Urteilsgrundlage für die Realität unserer Wahrnehmungen“ [SCHEURLE 1984, S. 63].

Die drei Elemente Sinnesempfindung, -erkennen und -intention treten stets gemeinsam als Wahrnehmung auf. Die isolierende Unterscheidung von Sinneserkennen, -empfinden und -intention ist auch wieder nur gedanklich herzustellen. Die drei Bereiche sind Betrachtungshorizonte, welche der Beurteilung des Wahrnehmungsvorganges dienen: Beurteilt man eine Wahrnehmung hinsichtlich der Sinnesempfindung, erfährt man etwas über die Eigenschaften, d. h. wie etwas ist. Man nimmt wahr, welche Farbe, welchen Geruch etwas besitzt, wie warm oder rau etwas ist. Ordnet man der Wahrnehmung einen Platz im Begriffssystem zu, erkennt man das Wahrgenommene. Durch die mit der Einordnung in das Verständnissystem vollzogene begriffliche Abgrenzung werden Eigenschaften vom Umfeld unterschieden und zu Dingen zusammengefasst. Zu jeder Wahrnehmung kann eine Aussage über ihre Realität getroffen werden, ihre begriffliche Bestimmung angegeben werden und es lassen sich ihre empfundenen Eigenschaften beschreiben.

Durch folgende kleine Übung kann erfahren werden, dass Begriffe durch eine eigene Aktivität gebildet werden müssen, mit den Worten von [BOCKEMÜHL, M. 1984, S. 77]: „Der Begriff erscheint nicht ohne das tätige Einsehen“: Man bringe mehrfach willkürlich einen Gedanken hervor und mache sich nachträglich klar, wie aus diesem vorsätzlichen Willen plötzlich der klar überschaubare Gedanke hervorging [GUTLAND, 1999].

¹⁶ Die Möglichkeit der Illusion ergibt sich aus der Doppelfunktion gedanklicher Erfahrungen: Das Denken kann sowohl zum Erleben eines Gedankens wie auch zur Vorstellung oder Erinnerung der übrigen Sinneserfahrungen dienen. Bleibt anzufügen, dass wir nur diejenigen Eigenschaften real erfahren, die durch einen Sinn unmittelbar empfunden werden: Außer dem Sehen der Farbe Rot gibt es keine andere Möglichkeit, dem faktischen Rot ein Sein zuzuschreiben, weder durch Hören noch durch Tasten oder Riechen.

Der Wahrnehmungsprozess kann damit folgendermaßen beschrieben werden. In den Gesichtskreis eines Menschen gelangt ein Gegenstand, beispielsweise ein Kreis, wie er in Abbildung 11 gegeben ist. Bei dessen Betrachtung tastet die Gesichtslinie das Beobachtungsobjekt ab. Zwischen den sprunghaften Bewegungen des Auges, den Sakkaden, fällt das Licht des für Bruchteile einer Sekunde fixierten Punktes durch die Pupille auf die Mitte der Netzhautgrube (*fovea centralis*), der Stelle des deutlichsten Sehens. Im Verlauf der Beobachtung stammen die Reize von kreuz und quer verteilten Orten des Objektes (Abbildung 13). Die Reiz- oder Sinnesempfindung, auch Perzeption oder Affekt genannt, bleibt meist unbewusst, da das Sehen auf des Erkennen, also auf die begriffliche Bestimmung der Empfindungen, gerichtet ist. Aber die Aufmerksamkeit kann auch auf die Empfindung gerichtet werden, was im weiteren Verlauf noch eine gesonderte Bedeutung erhält. Die Empfindungen regen einen Denkprozess an, der die Steuerung der Aufmerksamkeit, die Gliederung der Empfindungen in Figur und Hintergrund (Abbildung 10), die Hervorhebung von Einzelheiten sowie die Anordnung der Einzelempfindungen zu einer geschlossenen Gestalt (Beispiele in Abbildung 11, Abbildung 12, Erläuterung in Abbildung 16) insgesamt übernimmt. Das Denken setzt sofort mit den ersten Sinnesreizen ein, so dass von einer Gleichzeitigkeit von Empfinden und Denken gesprochen werden muss. Der Gliederungs- und Ordnungsprozess endet mit dem Bewusstwerden (Apperzeption) eines zur Sinnesempfindung adäquaten Begriffes. Die Einordnung der Wahrnehmung in einen bestimmten Verständniszusammenhang ist gleichbedeutend mit dessen Erkenntnis. Sie ist das Resultat der Verknüpfung des vom Denken in Form eines Begriffes bereitgestellten Interpretationsmuster mit den – entsprechend diesem Begriff – zu einer ganzen Gestalt geordneten Empfindungen. Sinnesempfindung und Begriffsbildung beeinflussen sich gegenseitig, man könnte daher von einer Selbstorganisation der Wahrnehmung sprechen.

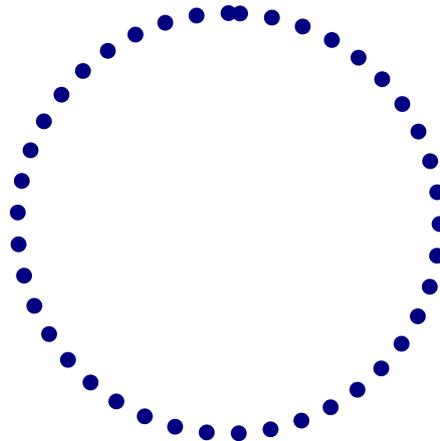


Abbildung 11 Der vorgestellte Kreis: Der Begriff des Kreises lässt einen Kreis erkennen, wo physikalisch nur Punkte sind.

Die nach außen gerichteten Sinne (Gesichts-, Hör-, Tast-, Geruchs- und Geschmackssinn) vermitteln die separaten Empfindungen. Das Hervorbringen des Begriffes ist ein aktiver Prozess. In Bezug auf die Bildwahrnehmung verdeutlichen Popper & Eccles diese Aktivität sehr anschaulich, indem sie davon sprechen, dass die Bildentstehung besser dem Malen eines Bildes als dem zufälligen Fotografieren entspräche [POPPER & ECCLES 1977]. Erst der durch Denken hinzukommende Begriff verbindet die fragmentarischen Sinnesempfindungen zu einem Ding im Bewusstsein des Wahrnehmenden (These 4). Dass das Objekt in Abbildung 11 ein Kreis ist, kann nur durch die innere denkende Tätigkeit des Beobachters erfasst werden.



Abbildung 12 Der gedachte Strahl: Weniger konstruiert, aber dasselbe Phänomen wie im vorhergehenden Bild: Der Begriff der Gerade lässt einen Lichtstrahl erkennen, wo bei analytischer Betrachtung nur Staubpartikel zu sehen sind. (Quelle: <http://geogeoel.wku.edu/awulff/475dv/morefun.htm>, 15.9. 2005).

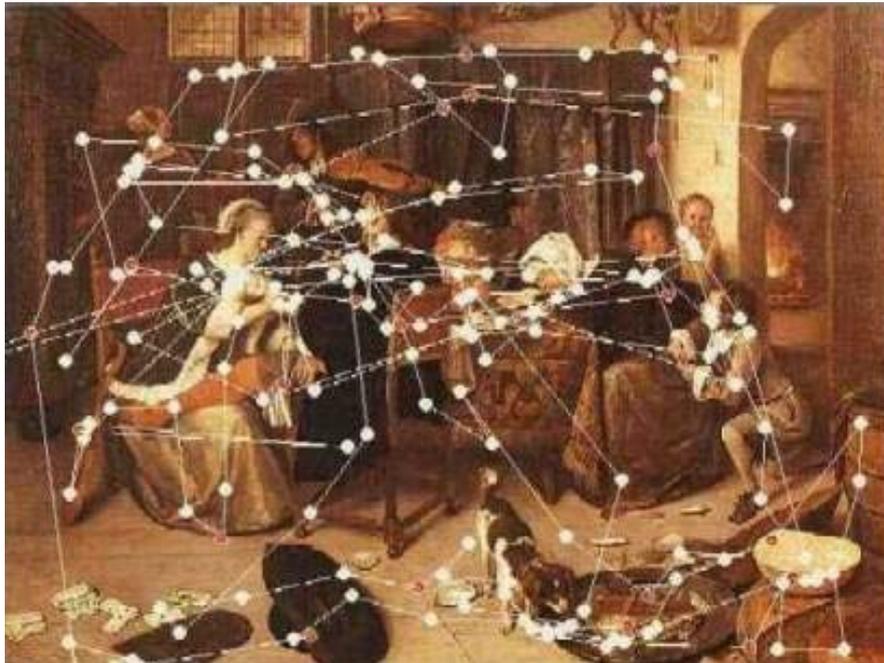


Abbildung 13 Abtastmuster einer Blickbewegungsanalyse bei freier Betrachtung eines Bildes. (Quelle: <http://rcswww.urz.tu-dresden.de/~cogsci/diplarb.html>, 6.3. 2002)

Wenn durch die innere Tätigkeit gewusst wird, dass dieser Gegenstand ein Kreis ist, dann sind im Denken sowohl die Sinneserfahrung dieses Kreises als auch das Bewusstsein vorhanden, dass dieser Kreis ein spezieller Kreis ist, nämlich eine individuelle Realisierung des allgemeinen Begriffes „Kreis“. Wäre nicht irgendwie ein Begriff von „Kreis“ vorhanden, könnte der Gegenstand nicht als ein Kreis, d. h. als konkrete Form von Kreis erkannt werden. Dies kann an den in Abbildung 14 und Abbildung 15 gegebenen Bildern veranschaulicht werden. Beim erstmaligen Betrachten wird es eine Weile dauern, bis der begriffliche Zusammenhang des Dargestellten erkannt

wird (siehe Abbildung 14); im Vexierbild (Abbildung 15) findet man das Gesuchte nicht, solange man keine Orientierung hat, was gesucht werden soll. Erst wenn die Suchfigur bekannt ist, kann – vermittelt durch das Vorstellungsvermögen – das Gesuchte gefunden werden. Zurück zum Beispiel des Kreises: Bei der Betrachtung konkretisiert sich der allgemeine Begriff des Kreises dem Beobachter in der besonderen Form dieses speziellen Kreises. Wenn sich der Beobachter abwendet, verbleibt ihm in seinem Bewusstsein eine sinnliche Vorstellung des Kreises. Bei einer Erinnerung an den Kreis, wird die Vorstellung erneut gebildet, die der Beobachter bei dessen Wahrnehmung gebildet hatte.



Abbildung 14 Versuchen Sie zunächst, das Bild ohne Hilfestellung zu erkennen. Wenn es nicht gelingt, suchen Sie einen Frühlingsmonat auf Englisch.



Abbildung 15 Vexierbild. Suchen Sie – zunächst ohne zu wissen, was Sie suchen sollen. Erst wenn Sie aufgegeben haben, suchen Sie den Bauern. (Quelle des Bildes: Sächsischer Bauernkalender 1946, S. 83)

Lernen als Begriffsbildung

Wahrnehmung wird nach dem Vorigen aufgefasst als Dreiheit von Sinnesempfindung, Erkennen und Aufmerksamkeit. Der Aspekt des Erkennens hat für die wissenschaftliche Durchdringung der Welt eine besonders große Bedeutung, da er die Gliederung der Erfahrungen im Begriffssystem zum Inhalt hat. Anhand des Umkehrbildes (Abbildung 10) wurde bereits dargestellt, dass das zur Interpretation verwendete Wahrnehmungsmuster entscheidenden Einfluss auf das Ergebnis der Erkenntnis nimmt. Im Alltag wird zweckmäßigerweise auf in der vergangenen Lebensgeschichte gebildete Wahrnehmungsmuster zurückgegriffen. Die aktuelle Wahrnehmung wird in das vorhandene Begriffssystem des Beobachters eingeordnet. Dadurch wird es möglich, Objekte sehr schnell *wiederkennen*. Ein Beispiel dafür war das Erkennen des Kreises in Abbildung 11. Liegt nun für eine Wahrnehmung noch kein entsprechender Begriff vor, kann nichts erkannt werden. Oder anders ausgedrückt, die Wahrnehmung kann nicht in das (vorhandene) Begriffssystem

tem eingeordnet werden, sie bleibt unverstanden. Begnügt sich der Beobachter nicht mit einem – stets findbaren – Oberbegriff wie Geräusch, Ding, Etwas oder mit der Benennung der empfundenen Eigenschaften, entsteht ihm die Frage nach genauerer Erkenntnis dessen, was seine Aufmerksamkeit erregt. Er lenkt seine Aufmerksamkeit auf das unbekannte Etwas, bis ein neuer Begriff gebildet worden ist; das anfangs fehlende Verständnis liegt dann vor. Dabei ist es prinzipiell egal, ob die Verständnisfragen im Laufe sinnlicher oder gedanklicher Beobachtung entstehen, z. B. wenn etwas durch das Auge nicht erkannt wird oder das Verständnis für ein rein gedankliches Problem fehlt [SCHEURLE 1984, S. 7]. Die Bildung neuer Begriffe und die Umbildung vorhandener werden als Lernen bezeichnet. Begriffsbildung ist eine schöpferische Tätigkeit. Der zunächst fehlende Begriff muss bei erstmaliger Wahrnehmung eines Phänomens erst kreiert werden, später, für das Wiedererkennen, kann die Erinnerung genügen. Werden bestimmte Kombinationen von Sinnesempfindungen und Begriffen wiederholt gebildet (trainiert), kann ihre Verknüpfung in Form des Gewohnheitsdenkens sehr schnell vonstatten gehen. Gewissermaßen werden Automatismen zur Verknüpfung von Eigenschaften und Begriffen gebildet, beispielsweise der Art: „wenn rund, rot und süß, dann ist das ein Apfel“.

Intuition

Die Bildung des ordnenden Zusammenhanges kann damit so zusammengefasst werden: Der gedanklichen Zusammenhang zwischen verschiedenen Beobachtungen ist das Ziel der Erkenntnis. Die begriffliche Deutung schließt mit einem Wahrnehmungsurteil, etwa in der Form: „Das ist eine Blume“. Erkennen ist das Finden begrifflicher Deutungen. Dazu richte ich die Aufmerksamkeit darauf, als was etwas angesehen werden kann. Die Antwort ist ein zur Wahrnehmung passender Begriff. Dieser Begriff ist dann das Interpretationsmuster, nach dem sich die Wahrnehmung in das Begriffssystem einfügen lässt. Um etwas zu erkennen, befrage man es nach seinem Zusammenhang. Erkenntnis ist demnach Wahrnehmung unter dem Kriterium des Bedeutungszusammenhanges. Streng genommen ist Erkenntnis kein gedanklicher Inhalt, sondern ein Kriterium, das allgemein in der Beurteilung aller Phänomene herrscht. Eine Wahrnehmung kann hinsichtlich ihrer begrifflichen Deutung beurteilt werden, analog wie dieselbe Wahrnehmung hinsichtlich ihres Klanges oder ihrer Wärmeempfindung oder hinsichtlich ihrer visuellen Erscheinung oder hinsichtlich ihrer Gesamtwirkung beurteilt werden kann.

Das verbindende Mehr des Ganzen (der gedankliche Zusammenhang) gegenüber der Summe seiner Teile (Sinnesempfindungen) tritt im Prozess der Wahrnehmung spontan auf. Oft unmittelbar mit der Wahrnehmung, manchmal spürbar später, beispielsweise bei der Betrachtung abstrakter Kunstwerke. Gerade bei großen wissenschaftlichen Entdeckungen dauerte es Wochen, Monate oder Jahre, ehe die vorliegenden Erfahrungen zu einem neuen Ganzen verbunden werden konnten. Je länger die Zeit des Beobachtens ist, umso deutlicher ist auch die Plötzlichkeit des Auftauchens des die Beobachtungen verbindenden Zusammenhanges. Stellvertretend für viele Beispiele, wie Künstler oder Wissenschaftler den schöpferischen Vorgang der Bildung von Verständniszusammenhängen beschreiben, kann der Mathematiker C. F. Gauß (1777–1856) mit dem zitiert werden, was er über ein Theorem schrieb, das er jahrelang erfolglos zu beweisen versucht hätte:

„Endlich gelang es mir vor zwei Tagen, nicht etwa dank meiner mühseligen Anstrengungen, sondern durch die Gnade Gottes. Wie ein plötzlicher Blitz war das Rätsel gelöst. Ich selbst kann nicht sagen, was der rote Faden war, der das, was ich vorher bereits wußte, mit dem verband, was meinen Erfolg ermöglichte.“ [GAUß 1886]

Auch das zweite Beispiel zeigt das Typische einer Intuition: „Er [Nash – d. Verf.] sinnt über ein Problem nach und irgendwann hat er einen Geistesblitz, eine Intuition, eine Vision der gesuchten Lösung.“ [NASAR 1998, S. 152] Intuition ist ein ehrfürchtiges Empfangen. Ihr schließt sich das reflektierende Einarbeiten des unmittelbar geschauten Sinnes der Wahrnehmung in das Beziehungsgefüge der Gedanken an: Popper zitiert C. F. Gauß mit folgender, amüsanten Beschreibung dieses Umstandes: „Ich habe mein Ergebnis gefunden. Aber ich weiß noch nicht, wie ich es finden soll.“ [POPPER 1945, S. 78] Intuition wird gewöhnlich im Zusammenhang mit schöpferischen und künstlerischen Vorgängen gesehen. Dennoch spielt ein ursprüngliches und direktes Spüren

und Erfassen des (gedanklich gebildeten) Ganzen eine entscheidende Rolle für jedermann in allen Bereichen des Lebens.

„Es liegt im Wesen des Denkens, mit einem ganz intuitiven Sprung zu einer Schlussfolgerung zu beginnen, die anschließend angepasst, verworfen oder gerechtfertigt werden kann. Ohne diese Fähigkeit würde das Denken und das Leben nicht nur extrem mühsam, sondern auch nicht zu entziffern sein.“ [LUTZKER 1996, S. 94]

Intuition ist demnach nicht als eine Genies vorbehaltene Gabe aufzufassen, sondern „als Kraft, die für jedermann gegenwärtig und erreichbar ist.“ [LUTZKER 1996, S. 254] In ihr liegen die un-mittelbarsten und voraussetzungslosesten Möglichkeiten des Verstehens. Intuition als eine Art Zugang zum Ganzen steht im Gegensatz zur Analyse, die den Gegenstand in Teile zerlegt, um ihn unter Rückgriff auf bekannte funktionale Beziehungen wieder zusammensetzen.

Das Auftauchen der die Beobachtungen zusammenfassenden Idee wird in Bezug auf die Wahrnehmung als *Intuition*, als Einfall, bezeichnet [HADAMARD 1996]¹⁷. Es kann mit dem verglichen werden, was oben unter Rückgriff auf einen Terminus aus der Ökologie mit „Emergenz“ bezeichnet worden ist, da sie – ganz analog der Emergenzvorstellung – nicht aus den Eigenschaften der Einzelempfindungen abgeleitet werden kann: „Die Idee erreicht man nicht durch Summation.“ [Anders¹⁸] Die unmittelbare Verbindung zwischen den Vorstellungen von Selbstorganisation und Emergenz einerseits und menschlicher Wahrnehmung und Intuition andererseits ist auch in einem Beispiel zu finden, das häufig zur Verdeutlichung des Satzes vom Ganzen, das größer als die Summe der Teile ist, herangezogen wird. Das Beispiel ist das Entstehen einer Melodie aus der Verbindung der Töne zu einem Ganzen (beispielsweise bei [STRÜBER 1987]). Letztlich sind alle Wahrnehmungen, nicht nur das Vernehmen einer Melodie, Integrationen verschiedener Sinnesempfindungen zu einem Ganzen mit nicht aus den Teilen ableitbaren, sondern „emergenten“ Eigenschaften.

Die Synthese von Sinnesempfindungen und gedanklichen Inhalten zu einem Interpretationsergebnis aus wahrnehmungspsychologischer Sicht ist Gegenstand des folgenden Abschnittes.

3.2 Die Gesamtwahrnehmung

„Die Empfindungen werden in der Regel nicht als einzelne, isolierte Qualitäten erlebt, sondern im Zusammenhang als komplexes Ganzes aufgefaßt. Ein Haus wird nicht als Summe verschiedener Farb- und Helligkeitsqualitäten, sondern als ein Gegenstand von bestimmter Beschaffenheit gesehen.“ [RIES 1987]

In die Wahrnehmung fließen verschiedene Sinnesempfindungen, gedankliche Bestimmungen (Begriffe) und weitere Faktoren (Vorlieben, Erwartungen, Gewohnheiten) ein, die in ihrem Zusammenwirken ein sinnvolles, geordnetes Erfassen des Gegenstandes in seiner Eigenart und Bedeutung ermöglichen. Für das Zustandekommen des visuellen Gesamteindruckes sind nicht nur, wie vielfach angenommen, die von den Augen vermittelten Sinnesvorgänge (Farbempfindungen, Helligkeit) miteinander verwoben, sondern auch Sinnesvorgänge anderer Sinnesfelder wie Gleichgewichtssinn, Sehsinn, Tastsinn, Bewegungssinn sind beteiligt (Abbildung 16). Die Grundlage der Verbindung der verschiedenartigen, ganz einmaligen Sinneserfahrungen sind Kopplungen zwischen physikalisch getrennten Qualitäten, etwa Farbe und Temperatur. Dieses gleichzeitige Empfinden modal verschiedener Sinneseindrücke, obwohl scheinbar nur ein einziges Sinnesorgan angesprochen wurde, wird mit dem Wort „Synästhesie“ bezeichnet. Die Erfahrung von Synästhesie als gleichzeitige und unbewusste Interaktion einer variablen Anzahl von Sinnen in der Wahrnehmung ermöglicht die Erfahrung eines Zusammenhanges verschiedener Sinnesqualitäten.

¹⁷ MacEachren bezeichnet das mehrfach so: „It makes intuitive sense.“ [MACEACHREN 1995, S. 137 oder 444].

¹⁸ Zitiert nach Bernhard Harzer Verlag, gis-report-news 2003.

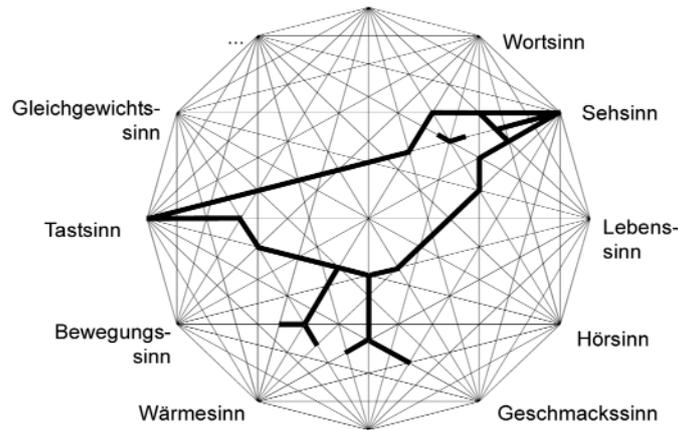


Abbildung 16 Zusammenwahrnehmung. Aus verschiedenen Sinnesreizen wie Farbe, Form, Kontrast, Bewegung werden im Kontext der Erfahrungen und Erwartungen des Interpreten denkend Zusammenhänge gebildet, bei der Betrachtung emergiert der Zusammenhang „Vogel“. Gleichzeitig bestimmt dieser Zusammenhang die Wahrnehmung durch Auswahl, Zuordnung zu Vorder- oder Hintergrund. Die Wahrnehmung organisiert sich selbst. In der Darstellung sind die Beiträge der verschiedenen Sinne am Zustandekommen der bewussten Wahrnehmung durch die von ihnen ausgehenden und in sie mündenden Geraden angedeutet. Die Auswahl und Hervorhebung einzelner Synästhesien ist in Form der fett gezeichneten Geradenabschnitte angedeutet.

Die Fähigkeit, korrespondierende Sinneseindrücke *bewusst* zu erleben, etwa Farben zu hören oder als warm zu empfinden oder Worte und Farben zusammen wahrzunehmen (Synästhesie), ist individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt. Einige, der für das Sehen besonders relevanten Synästhesien sind:

- Sehen – Tasten: Der Sehstrahl tastet das Objekt nacheinander ab. Dadurch entsteht eine chaotische Menge von Farbkleckschen.
- Sehen – Hören: Damit ist eine Ähnlichkeit der Empfindung des Seh- und des Hörsinnes angesprochen. Auf diese Korrespondenz wird mit dem Wort von „schreienden Farben“ hingewiesen.
- Sehen – Wärme empfinden: Bekanntlich korrespondieren bestimmte Blautöne mit einer Kälteempfindung, Rottöne eher mit einer Wärmeempfindung.
- Sehsinn – Gleichgewichtssinn: Um etwas als waagrecht oder als zu sehen, bedarf es des Gleichgewichtssinnes. Durch die Kopplung von visuellen und Gleichgewichtsempfindungen werden Augen- und Körperbewegungen koordiniert.
- Sehen – Lebenssinn: Der Lebenssinn ermöglicht die Erfahrung des Wohlbefindens oder des Schmerzes. Die Korrespondenz zwischen Wohlbefinden und Sehen wird bei der Betrachtung schöner Dinge nachvollziehbar. Die Farbtherapie nutzt diese Synästhesie für die Heilung.
- Sehen – Bewegung wahrnehmen: Das Sehen von Formen bedarf der Augenbewegung. Eine eigene Erfahrung dieses Zusammenhanges ist mit Abbildung 17 gut zu gewinnen. Gut verständliche Synästhesien zwischen Sehsinn und Bewegungssinn und Richtungssinn sind auch jene bei der Wahrnehmung von Formen (Abbildung 17).

Soweit einige Beispiele „einer allgemeinen Synästhesie, wie wir sie [anzunehmen – d. Verf.] für unvermeidbar halten.“ [WEIZSÄCKER 1940, S. 71]

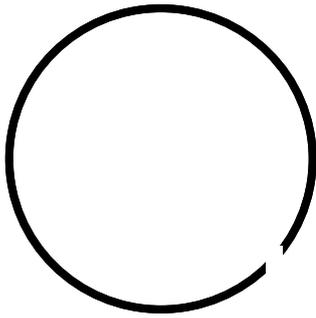


Abbildung 17 Bedeutung der Augenbewegung für die Erfahrung der Formen, links: eines Kreises, rechts: einer durchgebogenen „Geraden“. Die Form des Kreises und die Durchbiegung des Einlegebodens werden als Bewegungsqualitäten der Augenbewegung erfahren.

Das Ergebnis der integrierenden, synthetisierenden Koordinierung und Verbindung der Sinneswahrnehmungen und gedanklichen Inhalte zu einem Gesamten ist aus den Eigenschaften nicht abzuleiten, wie bereits gesagt wurde. Wie sehr die in das Bewusstsein tretende Erkenntnis aus einer echten Neuschöpfung hervorgeht, zeigt ein bei [LUTZKER 1996] wiedergegebener Versuch. Den Probanden wurde ein Gesicht gezeigt, das den Buchstaben „B“ spricht. Gleichzeitig war das „G“ zu hören. Die Probanden waren sich sicher, ein „D“ wahrgenommen zu haben. Das Wahrnehmungsvermögen schuf aus den Sinnesvorgängen eine neue, nicht aus den Teilen ableitbare Gestalt. Allein die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf das Sehen oder Hören oder auf die Veränderung hebt besondere Aspekte deutlicher gegenüber anderen hervor. Die integrale Wahrnehmung kann nicht auf die einzelnen Sinnesmodalitäten reduziert werden [SCHEURLE 1984, S. 81], [LUTZKER 1996, S. 20–25], [GOLDSTEIN 1997, S. 234]. „Es ist [...] die Interaktion aller Wahrnehmungsbereiche, die zu den Synästhesien zu rechnen ist.“ [SCHEURLE 1984, S. 81] Andere in [LUTZKER 1996, S. 168] zitierte Versuche legen nahe, dass Synästhesie eine Grundvoraussetzung von Wahrnehmung überhaupt sei, dass Wahrnehmung einer einzigen Sinnesmodalität nicht möglich sei. Die Vielzahl der mit dem Sehen verbundenen Sinnesmodalitäten ließe darüber hinaus vermuten, dass an Wahrnehmung alle Sinne beteiligt seien. [LUTZKER 1996, S. 20] Jedoch können in der Beobachtung die Erfahrungen der einzelnen Sinnesmodalitäten unterschieden werden. Sie treten dann mit besonderer Schärfe aus der stets vorhandenen Gesamtwahrnehmung hervor; Andere Sinnesbereiche werden weniger bewusst wahrgenommen.

Um ein an dieser Stelle mögliches Missverständnis zu vermeiden, sei klar gestellt, dass es keinen Grund für die Annahme gibt, durch Synästhesie würden Teile zu einem Ganzen zusammengesetzt, denn wir finden einzelne Sinne nicht unmittelbar vor. Wir machen zunächst Erfahrungen, die erst im Weiteren verglichen oder in leibliche/geistige, hörbare/sichtbare/tastbare usw. differenziert werden. Damit konstituieren nicht die einzelnen Sinnesmodalitäten die Gesamtwahrnehmung, sondern Wahrnehmung lässt sich hinsichtlich einzelner Sinnesmodalitäten analysieren. Für eine ursprüngliche Ganzheit, die erst denkend in sinnesspezifische Modalitäten differenziert wird, spricht meines Erachtens auch die sinnesübergreifende Wahrnehmung, wie sie für Lutzker bei Experimenten mit Säuglingen „überzeugend aufgezeigt“ wurde. Er zitiert Stern:

„So scheinen Säuglinge eine allgemeine angeborene Fähigkeit zu haben – man könnte sie amodale Wahrnehmung nennen –, die es erlaubt, die in einer sensorischen Modularität empfangene Information irgendwie in eine andere zu übersetzen. [...] Wahrscheinlich erleben sie diese Informationen nicht als eine zu irgendeinem bestimmten sensorischen Modus gehörende.“ [STERN 1985]¹⁹

¹⁹ Es könnte gut sein, dass der Grund für die Amodalität bei Säuglingen im Fehlen der entsprechenden Begrifflichkeit begründet ist.

Demnach ist es die Analyse, die aus der Gesamtwahrnehmung verschiedene Aspekte – in Form einzelner Sinnesfelder – herausgreift.

Der Gedanke einer schöpferischen Synthese verschiedener Sinnesempfindungen wurde bereits von Wilhelm Wundt (1832–1920) vertreten. Wundt sah bereits, dass die Elemente des Komplexes nicht als solche in das Bewusstsein gelangen, sondern dass ihre selbstständigen Eigenschaften im „Verschmelzungsprodukt“ völlig untergehen. [WUNDT 1887] War er davon überzeugt, dass sich das Ganze aus Teilen aufbaut, ist hier seine Auffassung wichtig, dass zu der Verbindung verschiedener Sinnesmodalitäten etwas wesensmäßig Neuartiges hinzutreten kann, welches die Eigenschaften einer einheitlichen Ganzheit trägt: Die Strukturiertheit der Wahrnehmung.

3.3 Sinnes-Empfinden

Ausgangspunkt der begrifflichen Interpretation ist die unmittelbar erlebte Sinnesempfindung. „Unmittelbar“ heißt: ohne interpretierende Deutung. Die Empfindungen von Ton, Helle²⁰ und Farbe, Festigkeit, Geruch oder Schmerz stehen als Erlebnisqualität unabhängig von aller weiteren Beurteilung fest. Was „warm“, „angenehm“ oder „Schmerz“ ist, wird unmittelbar, affektiv, intransitiv erlebt. Auch Mimik oder Sprache können diese Sinnesqualitäten nicht ersetzen, sie können nur auf sie verweisen oder sie hervorzurufen versuchen. Wem die Erfahrung der Farbe „Rot“ fremd ist, kann sie auf keinem anderen Weg als durch Sehen erlangen. Die Sinnesempfindungen sind nicht hintergehbare Größen der Wahrnehmung. Das macht den wichtigen Unterschied zum Aspekt des Sinnenerkennens aus. Für einen begrifflichen Zusammenhang, das Erkennen, bestehen meist mehrere Möglichkeiten der Deutung und Interpretation, je nachdem wie Vordergrund, Ausschnitt oder Kontext gewählt werden. „Maßgeblich für die Kennzeichnung der Empfindung ist nur die unmittelbar gegebene spezifische Qualität, ohne jede interpretative Breite. – Alle eindeutigen, invarianten Wahrnehmungselemente und Erlebnisse müssen demnach als spezifische Sinnesempfindungen bezeichnet werden.“ [SCHEURLE 1984, S. 55]²¹

Sinnesempfindung ist nichts Statisches. Für die Verdeutlichung eignet sich am besten ein extremes Beispiel. Und das ist in diesem Fall ein vollkommen gegenstandsfreies Bild: R. Saros „Blush“ (Abbildung 18). Zumindest im Original oder in hochwertiger Reproduktion zeigt es

„Fülle. Dichte. Aus wolkig massigen, grün-erdigen Schichten heben sich bräunlich-goldene Zonen hervor, die sich weiter aufhellen und in vielen Farben zu spielen beginnen. Inmitten von zunehmend durchsichtigen, hier mehr kalten, dort mehr warmen Grüntönen schwebt ein Grau, das sich stellenweise zu leichtem Violett intensiviert. Zugleich leuchtet fahles Gelbgrau ein schweres Orange auf, das zunehmend seine Opakheit verliert und wie transparent für ein leuchtendes Rot wird, das hier und dort durch einen milchigen Schleier aufscheint und sich aufzuweiten beginnt. Nach und nach überwiegen die rötlich durchleuchteten Goldtöne in der gesamten Fläche.“ [BOCKEMÜHL, M. 1995]

Nicht nur die Verben der Bildbeschreibung machen deutlich, dass an diesem Bild bei aufmerksamer Betrachtung das Erscheinen der Farbe Rot erlebt werden kann, der Gegenstand des Bildes ist das Werden des Rot. Um an der Wahrnehmung das Prozesshafte zu erkennen, kommt es auf die eigene Erfahrung an. Die verbale Beschreibung kann das Erleben der Wirkung des Bildes nicht ersetzen, sie kann nur auf das Gemeinte verweisen oder als Leitfaden für die Erfahrungen des Lesers, der Leserin dienen. Während der Beobachtung müssen Assoziationen vermieden

²⁰ Die noch nicht interpretierte Gesichtsempfindung als Helle zu bezeichnen habe ich von Gernot Böhme (Vortrag am 5.9. 2005) übernommen.

²¹ Die grundlegende Bedeutung der Sinnesempfindungen könnte durch die Bezeichnung der unmittelbaren Sinnesempfindungen als „primäre Qualitäten“ hervorgehoben werden. Das stünde allerdings im Widerspruch zu der auf Locke zurückgehenden Verwendung der Bezeichnung „primäre Qualität“: Zu den ersten Eigenschaften, diese nennt Locke „primäre Qualitäten“, rechnet er Solidität, Ausdehnung, Gestalt, Bewegung, Ruhe und Anzahl, die zweiten nennt er „sekundäre Qualitäten“, wozu er Farben, Töne, Geschmack oder Geruch rechnet. Die sekundären Qualitäten entstünden durch die Wirkung der primären Qualitäten, sie seien Arten und Weisen, wie unsere Augen, unser Geschmackssinn, unser Gehirn etc. die Umwelt interpretieren. [KAUFFMANN 1995]

werden, um das Beobachtete zu erleben und um nicht anstelle dieses Erlebens Gedanken über das Wahrgenommene zu bilden. Dazu ist es hilfreich, der Wahrnehmung eine offenlassende Aufmerksamkeit entgegenzubringen, nicht: feststehende Begriffe, Namen, Erinnerungen. Es muss für diese Art des Wahrnehmens versucht werden, das Bild so zu betrachten, als wäre es das erste Mal, dass man diese Farben, Formen, Linien sähe. Die innere Haltung bei der Betrachtung ist eine Bereitschaft zur Improvisation, ohne vorher zu wissen, was improvisiert werden wird. Es ist etwas Spielerisches.



Abbildung 18 Ricardo Saro: Blush. Dieses Bild eignet sich gut für das Erleben der Wahrnehmung. Stark verkleinerte Wiedergabe, Original: 220 x 180 cm. (Quelle: [BOCKEMÜHL, M. 1995, S. 11])

Die Wirkung der unmittelbaren Erscheinung tritt erst nach einer gewissen Zeit des aufmerksamen Betrachtens in das Bewusstsein. Bei fortgesetzter Betrachtung beginnt sich der erste Eindruck zu verändern, er kommt in Fluss. Wird das Erscheinen – beispielsweise der Farbe – auf diese Weise erlebt, so bringt es seine eigene anschauliche Evidenz mit sich. Das Erlebte braucht keines Beweises. Das „Einswerden von sinnlich-anschaulicher Gegebenheit und geistiger Aktivität“ spricht seine eigene Sprache [BOCKEMÜHL & KUGLER 1993, S. 67]. Diese Sprache kann unmittelbar aus der Aktualität ihres Geschehens verstanden werden. Die hier angeführten drei Erfahrungen, Wahrnehmung als Prozess, das Erleben der Wirkung der Wahrnehmung und die Evidenz der Erfahrung, können auch an gegenständlicheren Originalen oder Abbildungen gemacht werden²². Die Dynamik der Wahrnehmung wird sich auch bei der Naturbeobachtung einstellen, wenn es gelingt, seine Aufmerksamkeit bei der Beobachtung zu bewahren. Beispielsweise könnte die schnell als „blauer Himmel“ bezeichnete Wahrnehmung des Himmels beginnen, sich zu differenzieren: Ist er mehr weißlich oder mehr bläulich? Wo ist das Weißliche genau? Bei längerem intensiven Betrachten wird das erste schnelle Urteil „blauer Himmel“ zu einem differenzierteren Erlebnis gewandelt. Für das Erreichen dieser Erfahrung kann es hilfreich sein, sich während der Betrachtung nach der Wirkung des Betrachteten zu fragen.

Eine phänomenologische Betrachtung zeigt die *Einheit* von Wahrgenommenem und Wahrnehmendem in der Sinnesempfindung. Der empfundene Zustand ist kein vom Gegenstand abgespaltenen, rein persönlicher Eindruck, sondern das spezifische Element der Erfahrung, die der Wahrnehmende aktuell macht. Die Spaltung in Sinnesempfindung des Subjektes und Eigenschaften des Objektes ist Interpretation. Sie entspricht nicht dem phänomenalen Sachverhalt. Die Erfah-

²² Wir kommen in Abschnitt 5.1, Seite 68 ff., darauf zurück.

rung – beispielsweise der Farbe Rot – ist Ausdruck einer ungeteilten Beziehung. Die Spaltung der Erfahrung in Empfindung des Subjektes einerseits und Farbe des Objektes andererseits ist künstlich und nachträglich, phänomenologisch begründet ist sie nicht. (Primas, gelangt – allerdings als unvermeidbare Folge der Quantentheorie – ebenfalls zu dem Ergebnis, dass die Spaltung in Subjekt und räumlich getrenntes Objekt eine mögliche, aber letztlich willkürliche Unterstellung ist [PRIMAS 1994].)

Sinnesempfindungen haben grundlegende Bedeutung für das Erkennen, da sie Dasjenige sind, was weitestgehend frei von jeder Interpretation erfahren werden kann. Die unmittelbare Empfindung ist beschränkt auf die Vielfalt der Sinnesmodalitäten. (Ein Magnetfeld oder die Gesamtform der Uferlinie des Mittelmeeres kann nur mittelbar erfahren werden, d. h. unter Zuhilfenahme voraussetzender Definitionen.).

3.4 Wahrnehmung von Bewegung

„Aus der ursprünglich statischen Betrachtungsweise ist eine dynamische geworden. Die Erdoberfläche ist eine dynamische Größe, die von physikalischen Prozessen des Erdmantels, der Hydrosphäre und Atmosphäre mitbestimmt wird. Kontinentalverschiebung, Interplattendeformationen, Abschmelzen glazialer Eismassen, aber auch die Gezeitenwirkungen von Mond, Sonne und Planeten etwa auf Stationskoordinaten (direkte Gezeitendeformationen des Erdkörpers, Auflasten der Wassermassen der Meere etc.) spielen heute bei präzisen geodätischen Messungen eine bedeutende Rolle. Das Gravitationsfeld muss nicht nur als zeitlich variabel betrachtet werden, sondern hat einen ganz neuen Charakter angenommen, da es die fundamentale Raum-Zeit-Struktur im Sinne der Einsteinschen Gravitationstheorie prägt.“ [SOFFEL 1998]

Wenn man versucht, von der Vorstellung, die Welt bestehe aus Körpern, zu einer prozessorientierten Auffassung zu wechseln, stellt sich die Frage, wie wir etwas von Prozessen wissen können. Eine denkbare Erkenntnisquelle wäre der Rückschluss aus Differenzen zwischen nacheinander erfahrenen Zuständen. Dieser traditionelle Erklärungsansatz geht davon aus, dass die Grundbausteine der Bewegungswahrnehmung in einzelnen Zustandsbildern zu suchen sind. Gestützt wird diese These durch die Erfahrung der Beobachtung eines weit entfernten Objektes: Plötzlich wird ein veränderter Ort bewusst. Meist wird auf diese Erfahrung hin genau nachgesehen, ob eine Ortsveränderung tatsächlich beobachtet werden kann. Das *Wissen* von der Bewegung ergibt sich erst aus einem Vergleich der Zustandsbilder.

Mit der Bewegungsempfindung verhält es sich anders als mit dem Wissen von der Bewegung: Bewegungen können unmittelbar erlebt und ohne bewusste Reflexion nachgemacht werden.

„Die Wahrnehmung von Bewegung zerfällt nicht in viele Einzelbilder, die ein kognitives System dann zu einer kontinuierlichen Bewegung zusammenfügt. [...] Diese komplizierten Berechnungen sind nach Gibson's Auffassungen bloße Konstruktionen findiger Laborforscher. Er begreift das Springen des Balles als ein fließendes Ereignis. Komplizierte Informationsverarbeitungsprozesse sind dazu nicht nötig.“ [KEBECK 1994, S. 301]

unter Bezug auf [GIBSON 1966]. Abfolgen von Ereignissen können direkt als Bewegung wahrgenommen werden. Wir sind in der Lage, Bewegungen nachzuahmen, ohne sie in Raum und Zeit analysiert zu haben. Die eigene Erfahrung sowie Beobachtungen des kindlichen Erlernens von Bewegungen (Schaukeln, Schnürsenkel binden, Geige spielen, Singen) stützen die Annahme einer unmittelbaren Wahrnehmbarkeit von Bewegung, und die Nichtersetzbarkeit dieser Erfahrung durch andere Sinnesmodalitäten rechtfertigt die Proklamation eines Bewegungssinnes.

Das unmittelbare Erlebnis eines Überganges von einem Zustand auf den nächsten ist die interpretationsunabhängige Erkenntnisquelle in Bezug auf Dynamik, Bewegung, Veränderung, Entwicklung, Wachstum, Werden, Wandlung – alles verschiedene Seiten einer Sache. Wir kennen die Erfahrung von Bewegung aus der eigenen Körperbewegung, dem Heben eines Armes oder der Drehung des Kopfes. Was dabei sinnlich erfahren wird ist die Änderung der Wahrnehmung des Lebenssinns. Diese wird dann als Körperbewegung im Raum gedeutet und – etwas ungenau – auch hier als „Körperbewegung“ bezeichnet. Neben der Erfahrung der Änderung der mit dem Lebenssinn erfahrenen Sinnesempfindungen, kennen wir Bewegung auch von anderen Sinnen, beispielsweise der Veränderung der Gesichtswahrnehmung oder die Änderung der Tonhöhe

beim Nahen eines Fahrzeuges, die Änderung der Wärmeempfindung beim Einschalten der Heizung, die Änderung des Geruches in der Küche, das Nachlassen eines Schmerzes. Letztlich kann jede Sinnesmodalität hinsichtlich ihrer Veränderung beobachtet werden. Und: Jede Wahrnehmung von Bewegung ist immer Änderung von etwas Bestimmten (einer Sinnesqualität oder eines Gedankens, der räumlichen Beziehungen etc. pp.). (Daher sind in Abbildung 16 alle Sinnesmodalitäten mit dem Bewegungssinn verbunden dargestellt.) Der Bewegungssinn macht Umwandlungen unmittelbar erfahrbar.²³

Welche Geschwindigkeit der Bewegung erlebt wird, hängt offenbar vom Beziehungsgefüge der Gesamterfahrung ab. Ob Ruhe, ob beschleunigte oder verlangsamte Bewegung ist eine Frage des Beziehungsgefüges. Ruhe und Bewegung sind Polaritäten, ihre Beurteilung ist eine Frage des Standpunktes. Dies gilt für die Bewegungsempfindung ganz allgemein. Bemerkt man nicht, dass sich das Licht in der Dämmerung ändert, hat man auch keine Bewegungsempfindung. Das ist analog einem Reisenden, der seine Bewegung dann erlebt, wenn er aus dem Fenster blickt und die Änderung räumlicher Beziehungen wahrnimmt.

Der Bewegungssinn ist für die Wahrnehmung insgesamt nicht nur für die das Erleben der Änderungen der jeweiligen Empfindungsqualitäten bedeutsam: Aus der Beobachtung des Tastens wird sofort deutlich: Ohne Bewegung können Härte, Rauigkeit oder Schärfe nicht erfahren werden, denn sie setzen eine Bewegung gegenüber dem Körper voraus. Bewegung ist aber auch für die anderen Sinneswahrnehmungen unverzichtbar: Wenn man Sinnesreize eine Zeit lang wahrgenommen hat, gewöhnt man sich an sie. Dies ist bekannt von der Anpassung an eine veränderte Helligkeit oder Farbe (so auch [SUTER 1997]) oder einen veränderten Geräuschpegel der Umgebung oder an veränderte Lebensumstände ganz allgemein. Mit der Gewöhnung stumpft die Wahrnehmung scheinbar ab. Positiv formuliert passt sich das Wahrnehmungsvermögen an den aktuellen Dynamikbereich an, man wird sensibel für Veränderungen gegenüber diesem neuen Normalzustand. Bewegung – oder allgemein Wandlung – ist Voraussetzung für Wahrnehmung überhaupt, oder mit den Worten von Scheurle: „Wahrnehmen ist nur durch dauernde Bewegung möglich.“ [SCHEURLE 1984, S. 98]

3.5 Wahrnehmung von Richtungen

„Die erste ausgezeichnete Richtung ist die vertikale, sie ist mit dem *aufrechten Gang* des Menschen [...] in Verbindung zu bringen.“ [GOSZTONYI 1976, S. 937] Deutlich erlebbar sind die Vertikale sowie im Aufrichten die Dreiheit von Schwere, Leichte und Schweben. Auch für die Bestimmung von Richtungen rechts, links, halb rechts, oben, hinter mir usw. bedürfen wir nicht einer gegenständlichen Körperwelt. Für die Bestimmung von Richtungen im Raum bedienen wir uns der unmittelbaren Empfindungen des Gleichgewichtssinnes. Deren Einfluss auf das Orientierungsvermögen wird sofort erlebbar, wenn die Gleichgewichtserfahrungen gestört werden. Die auch im Versuch²⁴ erfahrbaren Erlebnisse zeigen, dass „in ihnen unsere Urteile über die Dingwelt wurzeln, die wir in den drei Raumrichtungen nur scheinbar endgültig geordnet finden. Diese Ordnung ist nicht ohne die Gleichgewichtsempfindung herstellbar.“ [SCHEURLE 1984, S. 114]

Die Richtungserfahrung durch den Gleichgewichtssinn kann zur Unterscheidung von rechts – links, vorn – hinten, innen – außen, vorher – nachher führen, weshalb in der Folge auch von einem Richtungssinn gesprochen wird.

Der Gleichgewichtssinn hat eine ganz herausgehobene Bedeutung für das Erkennen: Die Fähigkeit zur Analyse basiert auf einer Empfindung des Gleichgewichtssinnes. Mit ihm können Unterschiede und Gleichheiten beobachtet werden, denn die Empfindungen des Gleichgewichtssinnes

²³ Die ineinander übergehenden Zustände können in der Umwelt liegen oder auch aus dem Gedächtnis hervorgehen, so [SCHEURLE 1984, S. 103]. Dies wird im Abschnitt „Geomonitoring“, 8.7.5, aufgegriffen.

²⁴ Beschreibungen siehe [SCHEURLE 1984, S. 109 ff.]

bilden die empirische Basis für die Differenzierung oder Gleichsetzung sinnlicher oder gedanklicher Erlebnisse. (Ob erfahrene Unterschiede, Äpfel und Birnen, als ein Ununterschiedenes, also Obst, gedeutet werden, ist eine Frage der willentlichen Identsetzung, die hier aber nicht diskutiert wird.) Ob Wahrnehmungen gleichartig sind oder ob Differenzierungen festgestellt werden, hat seine empirische Basis in den Erlebnissen des Gleichgewichtssinnes und des Bewegungssinnes. Für die Differenzierung von Rot und Grün ist es unabdingbar, einen Unterschied zwischen beiden zu erleben. Wenn es keinen Unterschied gibt (weil eben keine Differenz und keine Bewegung respektive Wandlung empfunden werden kann), kann keine Zerlegung/Differenzierung/Analyse stattfinden:

„Die Welt zeigt kein Oben oder Unten, solange sie nicht durch die individuelle Wahrnehmung in Himmel und Erde geschieden wird. [...] Die statische Wahrnehmung [durch den Gleichgewichtssinn – d. Verf.] ist der schöpferische Ursprung, aus dem die Scheidung in die Pole hervorgeht. Wir erkennen das Oben und Unten nur aus der tätigen Mitte, aus dem wahrnehmenden Ich heraus. Die Welt wird erst durch die schöpferische Sinnestätigkeit polarisiert und in ihren Ordnungen geschieden.“ [SCHEURLE 1984, S. 114]

Das Wahrnehmen ist dadurch charakterisiert, dass es von einer Anfangserfahrung ausgehend nach gegensätzlichen Erfahrungen sucht.²⁵ In dem zunächst Einheitlichen treten über kurz oder lang, nach der Akkomodationsphase, gegensätzliche Erfahrungen auseinander. Dass es zuerst auf das Erleben des Unterschiedes ankommt, wird auch im Alltag sichtbar: Wenn etwas zunächst nicht erkannt werden kann, wird gefragt „Hörst/siehst/schmeckst/riechst/fühlst du nicht den Unterschied?“ Töne, Farben usw., zwischen denen keine Änderung empfunden werden kann, sind *ein* Ton, *eine* Farbe. Um eine Erfahrung analysieren, d. h. zerlegen zu können, bedarf es der Erfahrung einer Differenz. Ohne die Empfindung einer Differenz bleibt die zu analysierende Erfahrung unteilbar, unanalysierbar. Mit der Differenzierung ist die anfänglich ungeteilte Erfahrung dem Erkenntnisprozess von Analyse und Synthese eröffnet. Der Gleichgewichtssinn hat auch am Ende des Erkenntnisprozesses eine wichtige Funktion: Mit ihm wird beobachtet, ob die gedanklich synthetisierten inneren Bilder mit den Erfahrungen zur Deckung kommen.²⁶

²⁵ Schon Goethe war davon überzeugt, dass eine polare Struktur alle Sinnesbereiche durchzieht. [SCHUH 1999, S. 78]

²⁶ Anspielung auf das Zitat von Wolfgang Pauli in Abschnitt 3.7.



Abbildung 19 Gotthard Graubner 1982: Vulcano di amore. Beim quantitativen Zugang wird eine *formale Vergleichbarkeit* hergestellt, über deren Gültigkeit der Bearbeiter zu entscheiden hat. Beim qualitativen Zugang wird die *Wirkung* von etwas auf den Betrachter miteinander verglichen, wie etwa die Persönlichkeit und die Kleidung, die sie trägt. Oder wie im Bild eine Eigenart eines Gefühles mit der Erscheinungsweise einer Farbe. (Quelle des Bildes: [SCHMIDT 2000])

In der Naturwissenschaft wird Unterschiedliches durch Klassifizierung vergleichbar gemacht: Die Länge des Stockes wird der Breite des Kreises („Durchmesser“) vergleichbar, das halbvolle Glas gleich dem halbleeren. Auf der Empfindungsebene wird die Vergleichbarkeit nicht formal hergestellt, sondern die Charaktere (Wie wirkt etwas?) werden verglichen. Der Maßstab ist das Empfinden der Ähnlichkeit oder Unähnlichkeit (Abbildung 19).

Ergänzende Anmerkungen: Das Erleben des Übergangs von einem Zustand zu einem anderen lässt nicht nur unterschiedliche Zustände konstatieren (Analyse), sondern die verbindende Bewegung ist auch Synthese. Beispielsweise erlebt man die Änderung der Farbe, das Erscheinen des Rot. Auf diese Weise kann ein Zusammenhang sinnlich erfahren werden. Zweitens: Nicht nur der Gleichgewichtssinn (Gleichheit bzw. Ungleichheit von Farben, Tönen, Gerüchen ...) und der Bewegungssinn (Änderung der Farbe, des Klanges, des Wohlbefindens, der Richtung ...) haben Korrespondenzen in den anderen Sinnen, sondern auch die Augen tasten, die Hände sehen usw. Es sei daran erinnert, dass die Gliederung der Gesamtwahrnehmung eine gedankliche ist.

3.6 Sogenannte Sinnestäuschungen

Eine Wahrnehmung, die nicht das enthält, was nach Anwendung wissenschaftlicher Methoden oder aus anderen Gründen zu erwarten wäre, heißt gemeinhin „Sinnestäuschung“. Ein bekanntes Beispiel für ein natürliches Objekt, dessen Größe unterschiedlich groß beurteilt wird, obwohl eine konstante Größe erwartet wird, liegt mit der sogenannten „Mondtäuschung“ vor. Bei ihr wird der Mond dicht über dem Horizont größer empfunden als hoch oben stehend. Sinnestäuschungen können in der Natur nur dann diagnostiziert werden, wenn entsprechende Vergleichsgrößen vorliegen. Sehen wir uns einige konstruierte Beispiele an (Abbildung 20):

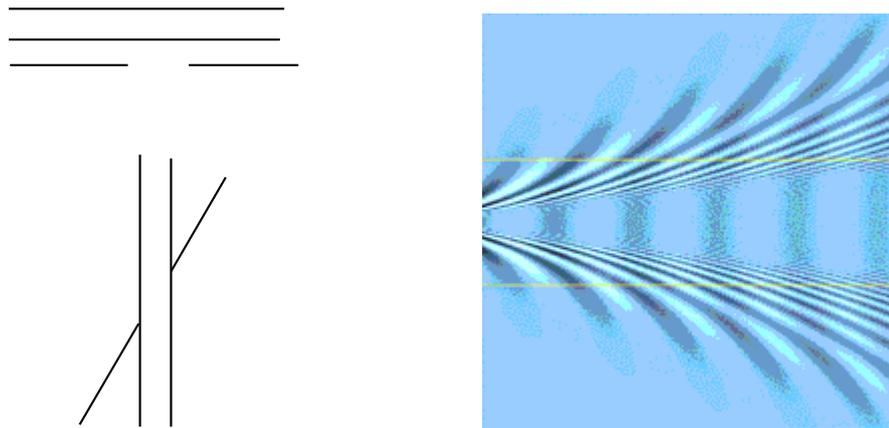


Abbildung 20 Parallele und unterbrochene Gerade. Oben sind ein Parallelenpaar und zwei Geradenstücke mit identischer Richtung dargestellt. Unten sind diese vier Teile nach der bekannten „Poggendorff“schen Täuschung“ angeordnet. Nun erscheint das rechte Geradenstück gegenüber der Verlängerung des linken versetzt. Rechts sind Geraden mit konstantem Abstand zueinander dargestellt, sogenannte „Parallele“. (Quelle des rechten Bildes: <http://www.maths.adelaide.edu.au/~hydro/gallery/hydgall.htm>, 18.2. 2003)

Und Abbildung 21:

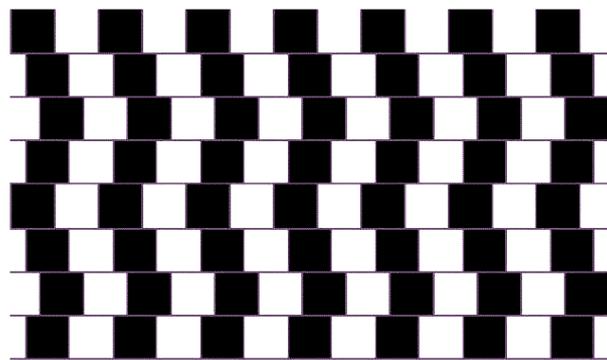


Abbildung 21 Sind die horizontalen Geraden parallel? Die Antwort fällt unterschiedlich aus, je nachdem, ob das gesamte Bild oder ein konkretes Parallelenpaar betrachtet wird. (Quelle: <http://www.opticalillusion.com>, 11.2. 2003)

Klarheit in die sogenannten „Sinnestäuschungen“ bringt die Differenzierung der Wahrnehmung in Sinnesempfinden und Sinneserkennen. Die Sinnesempfindungen sind bar jeder Interpretation, an ihnen gibt es nichts zu deuten. Sinnliche Erfahrung ist real. Eine Schmerzempfindung ist nicht weg zu diskutieren und sie ist von der Empfindung salzig klar unterscheidbar. Das Sinnesempfinden trügt nicht.

Anders sieht es mit der begrifflichen Interpretation der Sinnesempfindungen aus. Die Zuordnung eines Begriffes zur Sinnesempfindung erfolgt im Wahrnehmungsurteil. Mit ihm ordnet der Begriff die aktuelle Empfindung in das bisher gebildete Begriffssystem. Mit weiteren Erfahrungen kann sich das Begriffssystem ändern, wir lernen dazu. Die Verbindung von gedanklichem Urteil und Sinnesempfindung ist anfällig für Irrtümer und Verwechslungen. Und sie ist vorläufig, da sie durch spätere Erfahrungen oder Begriffsentwicklungen modifiziert werden könnte. Damit sind Wahrnehmungsurteile die Einfallstore von Irrtümern. Bei allen sogenannten Sinnestäuschungen sind es nicht die Sinnesempfindungen, die trügen, sondern ihre begrifflichen Einordnungen. Parallelen, Größenverhältnisse usw. sind begriffliche Interpretationen. Die ihnen zugrunde liegenden Sinneserlebnisse, bestimmte Helligkeiten oder Formen, unterliegen keiner Täuschung.

Ein weiterer Grund für die Diskreditierung der Sinne ist die Vermischung verschiedener Sinnesfelder mit dem Behagensinn. Einen bestimmten Rotton erlebt jeder Gesunde als rot. Ob es diese

oder jene Stimmung, angenehme oder unangenehme Empfindungen oder Sympathien auslöst, ist davon zu trennen.

3.7 Gedanken als Wahrnehmungen

Wenn Wahrnehmung die Erfahrung eines – wie auch immer – „gegenwärtig Gegebenen“ ist, ist das Wahrnehmen von Gedanken konsequenterweise ein solches Wahrnehmungsfeld. Mit ihr werden gedankliche Verbindungen bewusst. Der Gedankensinn bezieht sich nun nicht nur auf Sprache oder Schrift, wie vielleicht vermutet werden könnte, sondern auf alle Bewusstseinsinhalte, gedankliche wie nichtgedankliche.²⁷ Mit dem Gedankensinn werden Inhalte erfahren, die mit anderen Sinnen nicht erfahren werden können; wie auch mit den anderen Sinnen jeweils einzigartige Qualitäten erfahren werden, die durch die anderen Sinne nicht substituiert werden können. Als Beispiel denke man etwa an die auf dem Brocken, Hohen Hagen und Inselsberg beobachteten Winkel zwischen den Vertikalebene: Dass die Winkel auf eine Kugeloberfläche bezogene (also sphärische) sein können, ist eine gedankliche Verbindung zwischen ihnen. Die Idee verbindet die gemessenen Winkel. Sie ist selbstverständlich nicht gemessen und nicht aus den Winkeln abstrahiert. Die Annahme einer sphärischen Gestalt auf die sich die Winkelmessungen beziehen und eines sphärischen Exzesses macht die Abweichung der Winkelsumme von 180° einsichtig. Die Idee („Die Winkel sind sphärische Winkel“) fügt die Beobachtungen in ein verständiges System. Die gedankliche Verbindung beruht auf dem Erfassen des sich den anderen Sinnen verbergenden Zusammenhanges. (These 14)

Zu den Beobachtungen kommen gedankliche Verbindungen hinzu, ohne aus ihnen abgeleitet zu werden: Dies sprach Pauli mit folgenden Worten deutlich aus: „Ich hoffe, daß niemand mehr der Meinung ist, daß Theorien durch zwingende logische Schlüsse aus Protokollbüchern abgeleitet werden, eine Ansicht, die in meinen Studententagen noch sehr in Mode war.“ [PAULI 1957] So auch Jammer: Für ihn ergibt sich aus Erwägungen von Poincaré „die höchst wichtige Schlußfolgerung, daß das Experiment eine Geometrie, sei es welche auch immer, weder zu beweisen noch zu widerlegen vermag.“ [JAMMER 1980, S. 183]

Die Bezüge zwischen den zusammentretenden Dingen werden ohne Hinzufügung hypothetischer Erklärungen aus der Sache selbst gedanklich *abgelesen*. Die abgeleiteten begrifflichen Beziehungen müssen nicht und können nicht mathematisch-logisch bewiesen werden, da nur die unmittelbare Anschauung selbst der letzte Grund jeder Beweisbarkeit ist [SCHEURLE 1984, S. 17]. Diese Art Einsicht in einen Sachverhalt schließt Akzeptanz des Wissens über diesen Sachverhalt ein. Wie kann diese Akzeptanz also erreicht werden? „Theorien kommen zustande durch ein vom empirischen Material inspiriertes Verstehen, welches am besten in Anschluß an Platon als Zur-Deckung-Kommen von inneren Bildern mit äußeren Objekten und ihrem Verhalten zu deuten ist.“ [PAULI 1957] Dieses Zur-Deckung-Kommen läßt eine innere Überzeugung (Evidenz) erfahren. Nehmen wir als Beispiel das Wahrnehmungsurteil „Susanne ist schön.“ Der Leser des Satzes kann ihn verstehen, ob er ihn für wahr hält, obliegt seiner Entscheidung. Dazu wird der Inhalt der im Urteil verbundenen Teile, Wahrnehmung und Bedeutung des Begriffes, miteinander verglichen: Gibt es eine Übereinstimmung von Susanne, so wie ich sie wahrnehme, mit dem Inhalt des Begriffes schön? Eine Bejahung resultiert in einer Evidenzerfahrung.

Die in den „inneren Bildern“ gedanklich gefassten Zusammenhänge, kurz: Theorien, ergeben sich in einer „schöpferischen Synthese“ [WUNDT 1887] aus dem Erleben der Zusammenhänge. Beschreibungen solcher Beobachtungen können Wegweiser zum Erfahren der ihnen immanen-

²⁷ Schon „Bei Plato umfasst die *αισθησις* [sic, übersetzbar mit „Ästhetik“ – R. D.] terminologisch alles, was dem Menschen unmittelbar sinnlich begegnet, was nicht nur sichtbar und hörbar, sondern auch als Wärmegrad, als Geruch und Geschmack wahrnehmbar wird. Dabei sind Traum- und Wahnvorstellungen eingeschlossen.“ [SCHWEIZER & WILDERMUTH 1981, S. 18]

ten beobachtungsinvarianten Zusammenhänge sein. Die Beobachtung des Zusammenwirkens ist die Basis der Begriffsbildung.

Da sich die Wirklichkeit nur in der jeweiligen Sinnesmodalität manifestiert, stellt sich die Frage, wie ihre Realität überprüft werden kann. Bei einer nicht gedanklichen Sinneserfahrung gibt es doch eine Reizquelle; die Wärme des Sonnenscheines kann ich empfinden, weil es eine Sonne gibt, die mich bescheint. Haben diese Sinnesempfindungen also eine andere Art von Realität als die Gedanken, bei denen ich eine sonstige Quelle nicht sehen kann? Eine phänomenologische Untersuchung, die ja ohne Voraussetzung einer Dingwelt auskommt, führt zu folgender Antwort: Die Vorstellung eines schönen Mädchens ist, als Vorstellung, so real vorhanden, wie es die Wärmeempfindung des Sonnenlichtes bei ihrem unmittelbaren Erleben ist. Ebenso real existent und ebenso beobachtungsinvariant reproduzierbar ist irgendein Gedanke, als Gedanke, wenn ich die Aufmerksamkeit auf ihn richte. Dieses willentliche Richten der Aufmerksamkeit ist zur Feststellung der Realität von entscheidender Bedeutung, denn es ist das entscheidende Kriterium für die Realität unserer Wahrnehmungen, wie bereits unter Verweis auf [SCHEURLE 1984, S. 63] gesagt.²⁸ Scheurle fügt an, dass jeder Modalbereich auch ein eigener Realbereich sei:

„Wir erwarten beispielsweise nicht, die gesprochenen Worte eines Gesprächspartners sehen oder tasten zu können; dennoch sind sie – wenn auch für Seh- oder Tastsinn nicht vorhanden – ‚real‘ existent. Wir erfassen den Bereich des Hörens ebenso als einen selbstständigen Realitätsbereich wie den Bereich des Sehens, obwohl Gehörtes nicht sichtbar, Gesehenes nicht hörbar ist. Auch Wahrnehmungen gedanklicher Art sind durch willentliche Aufmerksamkeit im Denkbereich zweifellos gegeben, ganz unabhängig davon, ob ihnen haptische oder visuelle Wahrnehmungen folgen. Dem geistig wahrnehmbaren Ding braucht folglich kein für den Tastsinn reales Ding zu entsprechen. – Jeder Sinn ist Quelle autonomer Erfahrungen, deren Wirklichkeit sich nur in der Totalität des betreffenden Sinnesbereiches selbst manifestiert.“ [SCHEURLE 1984, S. 63]

Alle Sinneserfahrungen, vom Gleichgewichtssinn über Bewegungs-, Tast-, Geruchs-, Geschmacks-, Wärme-, Seh- oder Gedankensinn können in ihrer Wirklichkeit erfahren werden. Auch, was in der Phantasie vorgestellt wird, gehört zum „unmittelbar Gegebenen“ und hat als solches auf die Sinneswahrnehmung bezogene („modale“) Existenz. Sie ist gedankliche Wahrnehmung, im Unterschied zu Wahrnehmungen des Sehens, des Tastsinnes oder des Geruchsinnes. Ob mit der Wahrnehmung eine materielle, körperliche oder energetische Existenz korrespondiert, ist eine andere Frage: Aus den jeweils gerade aktuellen Wahrnehmungen werden bestimmte ausgewählt und unter einem bestimmten Gesichtspunkt zusammengefasst. Der Begriff der materiellen Realität beispielsweise grenzt die gedanklichen Wahrnehmungen aus, wie der Begriff der Vase in Abbildung 10 den mittleren Bildteil vom Hintergrund differenziert.

Eine Begründung dafür, auch Denkinhalte als Erfahrungstatsachen anzusehen, liefert auch Steiner:

„Eine genauere Erwägung wird aber hier jeden Zweifel schwinden lassen, daß auch unsere inneren Zustände in derselben Form in den Horizont unseres Bewußtseins eintreten wie die Dinge und Tatsachen der Außenwelt. Ein Gefühl drängt sich mir ebenso auf wie ein Lichteindruck. Daß ich es in eine nähere Beziehung zu meiner eigenen Persönlichkeit bringe, ist in dieser Hinsicht ohne Belang. Wir müssen noch weiter gehen. Auch das Denken selbst erscheint uns zunächst als Erfahrungstatsache.“ [STEINER 1886, S. 29]

Durch den Gedankensinn werden gedankliche Zusammenhänge unmittelbar erfahren, wie beispielsweise beim Hören eines Wortes oder Lesen eines Zeichens. „Unmittelbar“ heißt Verstehen ohne Hinzufügung nicht wahrnehmbarer Erklärungselemente. Das hebt den Gedankensinn über die anderen Sinne hinaus: „Wir finden innerhalb des zusammenhanglosen Chaos der Erfahrung, und zwar zunächst als Erfahrungstatsache, ein Element, das uns über die Zusammenhangslosigkeit“

²⁸ Unter Berufung auf Goethe wird mitunter verlangt, dass mindestens zwei Sinnesmodalitäten zu einem Begriff passen müssen, um das begrifflich Gefasste als wirklich anzuerkennen. Das ist eine gewagte willkürliche Festlegung, der abstrakten Einheit aus Äpfeln und Birnen, respektive Seh- und Tast- oder Geruchs- und Hörempfindungen mehr Wirklichkeit als den einzelnen Sinnesempfindungen zuzuordnen. Die eigene Beobachtung bestätigt jedenfalls das von Scheurle angegebene Wirklichkeitskriterium: Man glaubt ein Geräusch vernommen zu haben und lauscht daraufhin genau, ob das Geräusch nochmals – besser gesagt: willentlich – beobachtet werden kann. Wenn nicht, hält man es für eine Täuschung.

keit [der Einzelempfindungen – der Verf.] hinausführt, es ist das Denken. [...] Wenn ich zum Beispiel den Gedanken der Ursache fasse, so führt mich dieser durch seinen Inhalt zu dem der Wirkung.“ [STEINER 1886, S. 43] Der Gedankensinn erschließt gedankliche Zusammenhänge, mit meinen Sinnen kann ich hören, riechen, schmecken, Wärme und Wohlgefühl empfinden sowie den Sinn erfassen.

Die Sinne sind auf Eindrücke angewiesen, auf visuelle, akustische, mechanische oder eben intuitive. Richten wir die Aufmerksamkeit auf das Denken, nehmen wir Gedanken wahr, ebenso wie wir z. B. durch Hören und Sehen Töne und Farben wahrnehmen. Wir können die Aufmerksamkeit auf den Gesichtssinn konzentrieren, den Tastsinn, den Geruchssinn, aber auch auf die Wahrnehmung von Gedanken („Brainstorming“). Wir können die Aufmerksamkeit auf bestimmte Geräusche, bestimmte Farben, bestimmte Schmerzen begrenzen, aber auch auf bestimmte Gedanken. Wahrnehmungen können wir nur haben, wenn sie da sind; wo kein Geräusch ertönt, kann das Ohr nichts hören.

So gesehen ist Erkenntnis kein gedanklicher Inhalt, sondern ein Kriterium, das allgemein in der Beurteilung aller Phänomene herrscht. Ich kann meine Wahrnehmung hinsichtlich ihrer begrifflichen Deutung beurteilen, analog wie ich dieselbe Wahrnehmung hinsichtlich ihres Klanges oder ihrer Wärmeempfindung oder hinsichtlich ihrer visuellen Erscheinung oder hinsichtlich ihrer Gesamtwirkung beurteilen kann.

Da wir die Gedanken, die begrifflichen Beziehungen, hervorbringen, kann hier ein Unterschied zu nicht gedanklichen Wahrnehmungen ausgemacht werden: Wenn man beispielsweise während einer Kopfrechnung von jemandem angesprochen wird, lässt sich beobachten, dass die sinnlichen Empfindungen auf eine andere Weise in das Bewusstsein treten, als die Zwischenergebnisse der Rechnung: Die Rechnung erfordert einen aktiven Denkprozess, die sinnlichen Empfindungen treten einfach auf. Auch die gezielte Erinnerung (an das bereits erreichte Zwischenergebnis) bedarf einer aktiven Leistung. Wer beobachtet, lässt die Dinge passiv auf sich wirken. Wer denkt, ist aktiv, um Denkinhalte zu erfahren. Mit einer besonderen Tätigkeit richtet man die Aufmerksamkeit auf gedankliche Inhalte eines bestimmten Bereiches. Obwohl sinnliche Empfindungen und gedankliche Inhalte unmittelbar auftreten, liegt letzterer eine stärkere Eigenaktivität zugrunde.

Ein wichtiger Punkt ist die vermeintliche Willkürlichkeit der hervorgebrachten Denkinhalte. Das mathematische Denken folgt strengen Regeln. Die Inhalte sind (innerhalb des frei gewählten Bereiches der Gedankensphäre) nicht willkürlich. Zur Verdeutlichung denke man an die Determiniertheit des Ergebnisses einer Rechenaufgabe. Aber ist die Bildung von Wahrnehmungsurteilen willkürlich? Schauen wir uns diesen Unterschied genauer an: Betrachten wir Abbildung 10, S. 20, bin ich es, der den Zusammenhang der Farbanordnung hervorbringt. Ich bilde den Begriff „Vase“ oder einen anderen, der die an diesem Bild gewonnenen Empfindungen zu ordnen gestattet. Aber: Es gibt einen im Bild liegenden Grund, warum ich den Begriff der Vase im Angesicht der Abbildung 10 bilde – die Anordnung der Farbe. Ich kann das Bild nicht als Fahrrad interpretieren oder als Flötenton, zumindest so lange nicht, bis ich eine Gemeinsamkeit zwischen diesen Begriffen und dem Bild erlebt habe. Ein prosaisches Gemüt oder jemand, der zu Synästhesien von Farben und Tönen neigt, kann Abbildung 10 sehr wohl, wenn auch nicht als Fahrrad, so doch als Flötenton interpretieren. Trotzdem ist die begriffliche Interpretation nicht völlig frei: Ich muss eine Übereinstimmung zwischen einem Begriff und dem Bild *erleben* können, um es mit diesem Begriff interpretieren zu können. Es muss etwas im betrachteten Objekt liegen, das mich dazu führt, ihm den Sinn eines bestimmten Begriffes zuzuordnen.

Damit haben wir eine Gemeinsamkeit und zwei Unterschiede gedanklicher gegenüber sinnlichen Beobachtungen: Die Unterschiede bestehen erstens darin, dass ich die Begriffe durch eine eigene Tätigkeit, Denken, hervorbringe, während ich die Farbe Rot oder einen Schmerz erlebe, ohne eine Eigentätigkeit festzustellen. Unterschiedlich ist zweitens auch die Vielfalt: Die Empfindung der Farbe Rot ist genau diese Empfindung der Farbe Rot. Begriffliche Beziehungen gibt es viele. Die Gemeinsamkeit ist, dass etwas in dem Ding vorhanden sein muss, das zur Bildung ganz

bestimmter Empfindungen bzw. Begriffe führt – so wie ein roter Gegenstand etwas haben muss, damit ich ihn als rot empfinde. Auch der Gedankensinn ist auf etwas angewiesen, damit ein Gedanke in das Bewusstsein treten kann. Von daher sind Wahrnehmungen der (übrigen) Sinne und Wahrnehmungen von Gedanken verwandt. Sie haben, phänomenologisch gesehen, in gleichberechtigter Weise als Erfahrungsquellen zu gelten. „Die Phänomene der Reflexion sind in der Tat eine Sphäre reiner und evtl. vollkommen klarer Gegebenheiten.“ (HUSSERL 1907, III, S. 31). Ebenso bezieht v. Weizsäcker die Denksphäre in die Reihe der Wahrnehmungen ein [WEIZSÄCKER 1940, S. 71]. Auch die von manchen Personen erlebbare Synästhesie zwischen Worten und anderen Sinnesempfindungen legen die Einreihung gedanklicher Wahrnehmungen in den Kreis der Sinnesempfindungen nahe. Eine Argumentation in dieser Richtung lässt sich bei Merleau-Ponty finden: Ebenfalls von einem phänomenologischen Wahrnehmungsbegriff ausgehend, nach dem das Wahrnehmungsbewusstsein ein Gegenwartsbewusstsein ist, stellt sich ihm jedes Bewusstsein, auch das von Gedanken, Absichten, Wünschen oder Vorstellungen an Wahrnehmung gebunden dar. Jemand, der ein Bewusstsein von etwas hat, hätte dies nur, wenn ihm seine eigenen Gedanken gegenwärtig sind [MERLEAU-PONTY 1946, S. 39 f.] Alles, was bewusst ist, muss wahrgenommen worden sein.²⁹

Sehen wir auf das Verhältnis der einzelnen Sinnesempfindungen zu ihrer begrifflichen Einordnung in einen bestimmten Verständnisszusammenhang. Gedankliche Wahrnehmungen sind aus sich selbst heraus im Verständnissystem eingebettet. Wenn wir einen Gedanken denken, hat dieser immer schon einen Platz im Verständnissystem. Andere Sinnesempfindungen wie Klänge, Glätte, Härte, Farbe, Wärme, Schmerz sind von der Empfindung her und auch begrifflich bestimmt. Solange sie – begrifflich – unbestimmt sind, sind sie unbestimmte Empfindung. Ab der Identifizierung – „was ich jetzt fühle ist hart“ – ist die Empfindung – begrifflich – bestimmt. Durch die begriffliche Bestimmung „hart“ fasse ich alle Empfindungen dieser Art zusammen und unterscheide sie von anderen, beispielsweise Wärmeempfindungen. Härte bezeichnet sowohl eine bestimmte Empfindung als auch einen bestimmten gedanklichen Inhalt. Diese Doppelrolle fällt auch einer Bewegungsempfindung zu, sie ist sowohl Empfindung als auch begriffliche Bestimmung. Auch die intentionale Seite lässt sich an gedanklichen Wahrnehmungen erkennen: Für das Erfassen eines komplizierten Gedankens muss ein deutlich fühlbarer Wille aufgebracht werden.

Zu der synästhetischen Bildung der Wahrnehmung aus allen Sinnesbereichen trägt auch das Denken bei. Der gedankliche Einfluss auf die Wahrnehmung ist offensichtlich. Ein Irrtum wäre es allerdings, statt von dem Verhältnis zwischen gedanklicher Interpretation und Sinneswelt von Subjekt und Objekt in Form zweier gegenüberstehender Lokalitäten auszugehen. Das Zusammenwirken mehrerer Sinnesbereiche ist kein Sonderfall, sondern die Regel. Ohne gedankliche Wahrnehmung bliebe die Bedeutung einer Erfahrung verborgen. Eine inhaltliche Gleichwertigkeit des Denkens mit den anderen Sinnesmodalitäten ist gegeben, solange keine Vorrangigkeit der Begriffe die originäre Phänomenalität überspielt und so zu einer „Tyranis des Denkens über die Mannigfaltigkeit der Wahrnehmung“ [SCHEURLE 1984, S. 16] führt.

Nach [KEBECK 1994, S. 104] beruht das Sprachverstehen nicht auf der Interpretation von Geräuschen durch den Verstand, sondern auf eine Wahrnehmung, die bei ihm als „Sprachwahrnehmung“ bezeichnet wird. Analog zu anderen Sinnen, Tast-, Seh-, Hörsinn und so fort, soll summa summarum von einem Gedankensinn gesprochen werden. Dessen spezifischer Beitrag zur

²⁹ Notabene kann auch an gedanklichen Wahrnehmungen ein sinnlicher Aspekt gefunden werden. Vielleicht erinnert man sich an die Schönheit eines verbal oder mathematisch dargestellten Gedankens. Heisenberg berichtet von einem Gespräch mit Einstein, in welchem er etwa Folgendes gesagt habe: „Ich glaube ebenso wie Sie, dass die Einfachheit der Naturgesetze einen objektiven Charakter hat, dass es sich nicht nur um Denkökonomie handelt. Wenn man durch die Natur auf mathematische Formen von großer Einfachheit und Schönheit geführt wird – mit Formen meine ich hier: geschlossene Systeme von grundlegenden Annahmen, Axiomen und dergleichen –, auf Formen, die bis dahin noch von niemandem ausgedacht worden sind, so kann man eben nicht umhin zu glauben, dass sie ‚wahr‘ sind.“ [HEISENBERG 1969]

Wahrnehmung ist der Zusammenhang; durch ihn können Zusammenhänge beobachtend erfahren werden, wie durch den Hörsinn Töne, den Sehsinn Bilder oder den Lebenssinn Schmerz und Wohlbefinden. Da sich die Wahrnehmungen des Gedankensinnes von jenen der anderen Sinne klar differenzieren lassen, jene sind ohne gedanklichen Zusammenhang zusammenhangslos, „zufällig“, ist die Annahme eines eigenen Sinnesbereiches naheliegend. Die Begründung eines eigenständigen Gedankensinnes beruht jedoch nicht auf einer Argumentation, sondern auf der Beobachtung ihres gegenwärtigen Gegebenseins.

Denkbewegung

Veränderungen einer Farbwahrnehmung, Gesichtswahrnehmung, Hörwahrnehmung oder Temperaturwahrnehmung sind uns vertraut. Häufig glauben wir allerdings, Bewegung wahrzunehmen, wo sie nur gedacht worden ist. Im Alltag setzen wir eine flüchtig festgestellte Differenz zwischen zwei Zustände mit der Erkenntnis einer Wandlung gleich. Aus der Erkenntnis der Differenz *wissen* wir von der Bewegung. Das echte *Empfinden* der Wandlung kann uns beispielsweise beim Verlieren des Gleichgewichtes oder als Zuschauer von Bewegungskunst (z. B. Tanz oder Film) bewusst werden.

Wie steht es mit der Wahrnehmung einer gedanklichen Bewegung? Um die Änderung einer Sinneswahrnehmung zu erleben, muss die Aufmerksamkeit eine Weile auf ihr ruhen: dann kann aus dem Ton eine Melodie, aus dem Ocker ein Rot (Abbildung 18), aus der Wärme ein Erwärmen werden. Gelingt es nun, die Aufmerksamkeit auf einen gedanklichen Inhalt zu lenken und dort zu bewahren, sich also nicht von irgendwelchen Assoziationen ablenken zu lassen, kann die Erfahrung gemacht werden, dass sich der Begriff zu entwickeln beginnt. Die dann beobachtbare Entwicklung des Begriffes folgt seinem Inhalt und seinen Verbindungen zu anderen Begriffen, eines ergibt sich vollkommen schlüssig aus dem anderen. Ein Beispiel solcher begrifflichen Entwicklung, die sich streng allein an den Inhalt und die aus dem Inhalt folgenden Zusammenhänge innerhalb des Begriffssystems folgt, ist Hegels „Lehre vom Sein“ [HEGEL 1832]: „Es kann nur die *Natur des Inhalts* sein, welche sich im wissenschaftlichen Erkennen *bewegt*, indem zugleich diese *eigene Reflexion* des Inhalts es ist, *welche seine Bestimmung* selbst erst setzt und *erzeugt*.“ [HEGEL 1832, Vorrede zur ersten Auflage] Aus der undifferenzierten Einheit von Allem (das unbestimmte Sein) ergibt sich durch Konzentration auf das, was ist, das Etwas, und auf das, was nicht ist, das Nichts. Aus dem Übergang vom Nichts zum Sein ergibt sich der Begriff des Werdens usf. Hält sich die Wahrnehmung an den Begriff, ergibt sich die Entwicklung von selbst. Denkt man an das, was ist, kommt man zu dem, was nicht ist. Ein anderes Beispiel gibt Nikolaus von Kues mit der Entwicklung der Vielfalt aus der Einheit. [KUES 1450, Kap. VI] Der Begriff entwickelt sich gewissermaßen von allein aus seiner inhaltlichen Bestimmung heraus: „Es ist das Eigentümliche philosophischer Reflexionen, daß sie ihre Ausgangsbegriffe in Bewegung, oft gar in Taumel versetzen und zum Umschlag bringen. ‚Dialektik‘ war von Platon bis Adorno das Wort dafür.“ [WELSCH 1995, S. 9]³⁰

Fehlerfreiheit des sinnlichkeitsfreien Denkens

Bemerkenswert ist das Fehlen einer Irrtumsmöglichkeit des rein auf gedankliche Inhalte bezogenen Denkens: die Begriffe³¹ und die mit ihnen identischen Beziehungen bilden ein in sich stimmiges Netzwerk. Die Glieder dieses Begriffssystems haben mannigfaltigste Bezüge zueinander.

³⁰ Der Hirnforscher Ernst Pöppel bezeichnet den kreativen Prozess der Begriffsbildung als „es in uns denken lassen“. Zitiert nach Ines Possemeyer in *Geo* 08/2005, S. 90, 11.10. 2005.

³¹ Zur Klarstellung ist zwischen dem Begriff als dem gedanklichen Inhalt und den Namen oder Worten, die auf diesen gedanklichen Inhalt verweisen, zu unterscheiden. Der Begriff eines Baumes ist weder „Baum“ noch „tree“ oder „arbre“, sondern das, worauf diese Worte verweisen. Die Bezugnahme auf die gedanklichen Inhalte, Begriffe, können Namen, also die Begriffsbezeichnungen oder Umschreibungen („größte Pflanze“) sein. Namen oder sonstige Beschreibungen sind als Wegweiser zu betrachten, wenn nach den gedanklichen Inhalten gesucht wird.

Diese Bezüge und Zusammenhänge zwischen den Begriffen sind unmittelbar durch ihre Inhalte bestimmt und der (gedanklichen) Beobachtung zugänglich: Ich kann erfahren, was der Inhalt des Begriffes der „Ursache“ ist und ich kann erfahren, dass der Begriff der Ursache mit jenem der Wirkung in einem ganz eindeutigen Verhältnis steht. Nichts anderes als der Inhalt und der Zusammenhang der Begriffe bestimmen das sinnlichkeitsfreie Denken. Wer den Begriff der Ursache denkt, kann kein Viereck oder eine Sekante denken. Das begriffliche Denken wird bestimmt vom Inhalt und Zusammenhang der Begriffe, die allein durch das Denken geschaffen und verändert werden. Diese Fehlerfreiheit ist vom logischen Denken bereits besonders gut bekannt. Die Logik beschreibt Beziehungen zwischen dem, was das logische Denken hervorbringt. Ein und dieselbe Sache bestimmen nicht nur das logische, sondern auch das begriffliche Denken und sein jeweiliges Korrektiv: die Inhalte und Zusammenhänge der Begriffe bzw. die Gesetzmäßigkeiten der Logik. In dieser Identität liegt die Fehlerfreiheit nicht nur des mathematischen oder logischen Denkens begründet. (These 15)

Fehler können jenseits des sinnlichkeitsfreien Denkens auftreten, also dort, wo auf die nicht gedankliche Erfahrungswelt Bezug genommen wird: „Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit.“ Soweit [EINSTEIN 1921] in Bezug auf die Mathematik. Die Verknüpfung gedanklicher und nicht gedanklicher Bewusstseinsinhalte in Wahrnehmungsurteilen bildet ein Potenzial möglicher Irrtümer oder Täuschungen. Für das Erkennen von Wahrnehmungen muss der ihnen entsprechende Begriff gebildet werden. Gedankliche und nicht gedankliche Wahrnehmungen werden im Wahrnehmungsurteil verbunden. Wenn das Wahrnehmungsurteil fehlerbehaftet ist, liegt das an der Unvollständigkeit der sinnlichen Erfahrung oder an unzulässigen Analogieschlüssen oder sonstigen, nicht aus der Sache heraus begründeten gedanklichen Intuitionen. Einseitige, oder nur unter bestimmten Bedingungen gesammelte Erfahrungen können jedoch vervollständigt und die zugeordneten Begriffe modifiziert werden. Ausdruck der Verbindungen zwischen den universellen Begriffen und sinnlichen Wahrnehmungsinhalten sind die Vorstellungen. Sie sind konkrete Realisierungen der allgemeinen Begriffe: Der Bodensee ist eine konkrete Realisierung des allgemeinen Begriffes „Binnensee“. Eine Irrtumsmöglichkeit besteht darin, aus der Vorstellung (des Bodensees) Eigenschaften zu übertragen, die nicht zum allgemeinen Begriff (des Binnensees) gehören.

Eine weitere Irrtumsmöglichkeit wird an Rechenfehlern sichtbar: So, wie Rechenfehler durch die Abkürzung der Rechenregeln entstehen, können Fehler durch Erinnerungen, Assoziationen, Analogieschlüsse, Wünsche oder Erwartungen entstehen. Die Denkbewegung, die ihr Vorgehen nach den Denkinhalten richtet, kann nicht falsch sein.

Wenn man sich dem Gedanken öffnet, dass die mathematischen Gesetze zwar von mir zu Bewusstsein gebracht werden, ihre Inhalte jedoch unabhängig von meiner Willkür sind, drängt sich folgende Überlegung auf: Richte ich meine Aufmerksamkeit auf ein Fadenpendel, kann ich einige nicht gedankliche Empfindungen erfahren wie die Farbe, die Ausdehnung, die Festigkeit, die Durchsichtigkeit, die Rauigkeit oder Bewegung. Und ich kann die Regelmäßigkeit des Zusammenhanges von Fadenlänge und Schwingungsdauer gedanklich erfassen. Die Regelmäßigkeit, die ja wieder unabhängig von meiner Willkür ist, gehört – gleich allen anderen Empfindungen – zu dem Pendel dazu, sozusagen als eine seiner Eigenschaften. Ganz so, wie die Regelmäßigkeit der Struktur eines Kristalles eine Eigenschaft dieses Kristalles ist. Seine Härte nehme ich mit dem Tastsinn, die Farbe mit dem Sehsinn wahr, die Regelmäßigkeit – der Form respektive der Bewegung in Abhängigkeit von der Fadenlänge – mit dem Denken. Es ist nicht nur wirklich (erfahrbar), was empfindbar oder mithilfe chemischer oder physikalischer Untersuchungsmethoden beobachtet werden kann, sondern auch, was gedanklich erscheint: Die Gesetzmäßigkeit, nach der dieser Stoff oder dieser Prozess geordnet ist. Phänomenologisch kann in einer Hinsicht eine Gleichwertigkeit der erfahrbaren Empfindungen angenommen werden. Richte ich meine Aufmerksamkeit auf die Farbe, die Bewegung, den Geruch oder darauf, was etwas ist. In einer ande-

ren Beziehung unterscheiden sie sich: Die sinnlichen Empfindungen sind so, wie sie sind, für gedankliche Interpretationen bestehen Alternativen.

Es ist wichtig, sich klar zu machen, dass die Übereinstimmung gedanklicher Inhalte mit der Erfahrungswelt nicht bewiesen, sondern nur beobachtend eingesehen werden kann. Der Beobachter gewinnt die Einsicht, dass sich die Wirklichkeit mit seinen Begriffen interpretieren lässt („Aha-Effekt“). Beweisen befasst sich nicht mit der Beziehung von Begriffen zu den Gegenständen der Erfahrung, sondern nur mit den inneren (logischen oder semantischen) Zusammenhänge dieser Begriffe untereinander. Diese Nichtbeweisbarkeit zieht für die im Kapitel 6 dargestellte Beobachtungsmethode nach sich, dass sie nicht auf eine Beweisbarkeit ihrer Ergebnisse, sondern auf intuitive Einsicht zielt. (These 16)

3.8 Zusammenfassung

Wahrnehmung umfasst nach dieser Konzeption alle Erfahrungen. Eine erfahrungsgeleitete Differenzierung der Wahrnehmungsmannigfaltigkeit jenseits begrifflicher Vorgaben erreicht man durch eine Gliederung nach qualitativ unterscheidbaren Sinnesempfindungen. Gruppiert man jene Erfahrungen, die sich innerhalb polarer Extreme einordnen lassen zu einer Sinnesmodalität, gelangt man zu Modalbereichen, wie sie gewöhnlich als „Sinne“ bezeichnet werden.³² Phänomenologisch sind gedankliche Wahrnehmungen einem Gedankensinn zuzuordnen. Denkend erfährt man das, was den Sinnesempfindungen fehlt – den Zusammenhang zwischen ihnen. (These 3) Durch diese Systematisierung der Erfahrungen entsteht die bislang ungelöste Frage nach dem Übergang physischer Reize in das menschliche Bewusstsein nicht, da Gedanken gleichermaßen bewusst werden, so wie andere Sinneserfahrungen auch.

3.9 Eigenschaften

Sinneswahrnehmungen bilden das Fundament der Erkenntnis. „Die Welt ist das, was wir wahrnehmen“, heißt es prägnant bei [MERLEAU-PONTY 1945, S. 13]. Grundsätzlich werden also *Beziehungen* beobachtet. Diese wechselseitigen Beziehungen eines Gegenstandes mit einem Beobachter werden gemeinhin als Eigenschaften bezeichnet. Zwischen Objekt und Beobachter muss ein Wirkungszusammenhang in der Weise bestehen, dass der Beobachter bei der Betrachtung des Gegenstandes eine Veränderung der Wahrnehmung erfahren kann. Bei einer Messung verhält es sich prinzipiell genauso: Auch „Messungen sind Beziehungen.“ [CHRISMAN, 1997, S. 8] Es muss eine Veränderung des – mit dem Untersuchungsgegenstand verbundenen – Messinstrumentes beobachtet werden, um von dieser Eigenschaft zu wissen. Kann angenommen werden, dass die Wirkung des Beobachtenden oder des Messinstrumentes auf das Beobachtete gering ist, wird das Beobachtungserlebnis (eine bestimmte Empfindung oder der Zeigerausschlag eines Messgerätes) dem beobachteten Objekt als „Eigenschaft“ (etwa: rot, 30 Gramm) zugeschrieben. Alles, was wir über die Dinge wissen, sind ihre Eigenschaften, von eigenschaftslosen und damit nicht wahrnehmbaren oder nicht instrumentell beobachtbaren Dingen wissen wir nichts.

„Ein Ding hat die Eigenschaft, dies oder jenes im Anderen zu bewirken und auf eine eigentümliche Weise sich in seiner Beziehung zu äußern. Es beweist diese Eigenschaft nur unter der Bedingung einer entsprechenden Beschaffenheit des andern Dinges, aber sie ist ihm zugleich eigentümlich und seine mit sich identische Grundlage.“ [HEGEL, WdL II, S. 134³³]

Der Gedanke der Selbstorganisation wird von Kratky mit der Unterscheidung zwischen Fremd- und Selbstorganisation eingeführt (Abschnitt 2.1). Er bezieht sich auf die Bewegung einer Fahne als einführendes Beispiel:

³² Weitere Wahrnehmungsqualitäten ergeben sich aus Kombinationen dieser Qualitäten, beispielsweise die Form-, Druck oder Gewichtsempfindung.

³³ Zitiert nach <http://www.thur.de/philo/as15.htm>, 28.12. 2006.

„Sie flattert im Wind, auch wenn dieser völlig gleichmäßig bläst. Man kann nun argumentieren, daß der Wind die Ursache der Fahnenbewegung ist. Andererseits wird das Flattern zwar vom Wind ausgelöst, aber in seiner periodischen Bewegung durch die Eigenschaften der Fahne bestimmt („Selbstorganisation“). Hingegen läßt sich als Beispiel für Fremdorganisation der Fall denken, daß jemand den Fahnenstoff mit beiden Händen in eine Flatterbewegung versetzt. In diesem Fall ist die Annahme einer direkten Ursache-Wirkungs-Relation (Schütteln – Flattern) viel passender.“ [KRATKY 1990]

Versucht man anhand dieses Beispiels eine Grenze zwischen Fremd- und Selbstbestimmung zu ziehen, muss man feststellen, dass sie willkürlich gewählt wurde: Auch bei einem Schütteln von Hand wird das Flattern in seiner periodischen Bewegung durch die Eigenschaften der Fahne, genauer: durch das Zusammenspiel von Material und Form der Fahne, Handbewegung, Luftdruck etc., bestimmt.³⁴ Besser kann Selbstorganisation als Strukturbildung insgesamt aufgefasst werden, offen lassend, ob es aus – per definitionem – äußeren oder inneren Einflüssen emergiert. Mit dem Verzicht auf die Unterscheidung, ob die Struktur von außen oder innen, fremd- oder selbstbestimmt ist, komme ich der auch von anderen Autoren beobachteten Gemeinsamkeit von Selbstorganisationsprozessen im biotischen und abiotischen Bereich (siehe oben Zitat von [SCHLICHTING 1994]) entgegen. Selbstorganisation bezeichnet also Strukturbildung ganz allgemein, das Prinzip der Selbstorganisation ist somit auf die Entstehung aller Eigenschaften anwendbar: Der Ton einer Geige klingt so, wie es sich aus dem Zusammenspiel von Anstreichen, Spannung, Material und Stärke der Saite, Umgebungstemperatur usw. ergibt. Aus dem Komplex von Bedingungen emergiert dieser Ton. Ein anderes Beispiel: Die Wirkung der Farbe eines Stoffes ergibt sich aus dem Farbton, dem Auftrag, dem Glanz, der Beleuchtung usw. Aber auch physikalische Eigenschaften werden bestimmt von einem Komplex von Faktoren: Die Bewegung einer rollenden Kugel ist bei genauer Betrachtung von einer nicht mehr modellierbaren Zahl von Einflussfaktoren abhängig.

³⁴ Beide Flatterbewegungen unterscheiden sich vielleicht im Grad der Direktheit zwischen Ursache und Wirkung: das Auf und Ab der Handbewegung ist immerhin senkrecht zur Fahnenebene gerichtet.

4 Erkenntnis durch Analyse und Synthese

Nach dem Vorhergehenden werden Zusammenhänge zwischen verschiedenen Bewusstseinsinhalten durch Denken geschaffen: „Die Begriffe [der geometrisch-physikalischen Theorie – d. Verf.] dienen dazu, eine Vielheit von wirklichen oder gedachten sinnlichen Erlebnissen in gedanklichen Zusammenhang zu bringen“, heißt es in [EINSTEIN 1921]. Etwas deutlicher wird Einsicht als Resultat eines analytisch-synthetischen Erkenntnisprozesses in der Beschreibung von Steiner:

„Wenn wir etwas [...] erkennen wollen, so können wir das nur mit Hilfe des Denkens, d. h. das Denken muß an ein Gegebenes herantreten und es [...] in eine systematische Verbindung mit dem Weltbilde bringen. Das Denken tritt also als formendes Prinzip an den gegebenen Weltinhalt heran. Der Vorgang ist folgender: Es werden zunächst gedanklich gewisse Einzelheiten aus der Gesamtheit des Weltganzen herausgehoben. Denn im Gegebenen ist kein Einzelnes, sondern alles in kontinuierlicher Verbindung. Diese gesonderten Einzelheiten bezieht nun das Denken nach Maßgabe der von ihm produzierten Formen aufeinander und bestimmt zuletzt, was sich aus dieser Beziehung ergibt [...] Dieses Ergebnis erst ist eine Erkenntnis über die betreffenden Teile des Weltinhaltes.“ [STEINER 1892, S. 63 f.]

In diesem Kapitel wird ausführlich geschildert, wie aus Zerlegung und Synthese Erkenntnis emergiert.

4.1 Wahrnehmung als Prozess der Gliederung des Ganzen in Teile (Analyse)

Ohne die mit der Analyse verbundene Eingrenzung auf Ausschnitte, einzelne Sichtweisen und Perspektiven, kann nicht nur nichts erkannt, sondern ohne begrenzende Auswahl kann schon nichts wahrgenommen werden: Abbildung 22 zeigt, wie durch eine Verkleinerung des Ausschnittes, das Bild schärfer wird. In Bezug auf das Sehen mit den Augen kann dies an der Camera obscura deutlich werden: wenn das ausschneidende Loch vergrößert, besser: die gesamte Seitenwand entfernt wird, findet keine erkennbare Abbildung statt. Das gilt für die Sichtbegrenzung durch die Pupille, für Differenzierung sinnlicher Empfindungen und für die „Sichtbegrenzung“ durch den Begriff: Je feiner das Begriffsnetz in einer bestimmten Richtung entwickelt wurde und je differenzierter sinnlich wahrgenommen werden kann, je mehr Details und Differenzierungen werden – für den Spezialisten – sichtbar: „Bei näherer und eingehender Beschäftigung mit solcherart isoliertem Einzelteil erweist er sich neuerlich als zu komplex, um als Ganzes erfaßt zu werden, und wird abermals in seine Unterelemente zerlegt.“ [SUCHANTKE 1993, S. 97] So gelangt man – mit instrumenteller Unterstützung – zu immer feineren Unterteilungen und letztlich vollends aus dem Erfahrungsbereich in das Gebiet rein mathematischer Modelle.

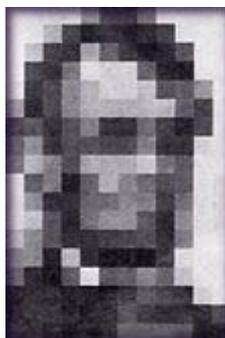


Abbildung 22 Präzisere Ausschnitte schärfen den Blick, rein optisch und begrifflich. Das Gesicht Abraham Lincolns kann durch halb geschlossene Augen besser gesehen werden. (Quelle: http://www.media.abcnews.com/media/science/images/ho_abe_lincoln_n.jpg, März 2003)

4.1.1 Qualität und Quantität im Prozess der Zerlegung

Das Spalten eines Granitblockes zeigt die Übertragung der Eigenschaften auf die Teile, in jedem Teil sind die Eigenschaften des Ganzen zu finden. Auch umgekehrt, beim Zusammensetzen können Merkmale erhalten bleiben, beobachtbar beispielsweise an der Fortsetzung der Mäander auch nach dem Zusammenfließen mehrerer Flüsse. Andererseits gibt es auch die Beobachtung, dass die Zerschneidung eines Biotops zu dessen Zerstörung führt oder dass die Eigenschaften eines Waldes nicht an einzelnen Bäumen beobachtet werden können. Mit einer Teilung ist eine Zerstörung erstens immer dann verbunden, wenn das Ganze in seine verschiedenartigen Kompartimente zerlegt wird: eine Zerlegung des Granits in Quarz, Feldspat und Glimmer beendet die Existenz des Granits. Eine Zerlegung in qualitativ gleichartige Teile überträgt die Eigenschaften des Ganzen auf die Teile. Das gilt innerhalb bestimmter Grenzen, nämlich denen des Maßes. Jenseits des qualitativen Maßes schlägt die weitere Teilung (oder Anhäufung) in eine qualitative Änderung um; sichtbar etwa an dem bekannten Beispiel des Erwärmsens von Wasser, das jenseits des Siedepunktes kein Wasser, sondern Dampf ist, am Zermahlen von Gestein zu Mehl, wobei unterhalb einer bestimmten Größe die Struktureigenschaften verloren gehen. Zweitens ist also mit einer Teilung eine Zerstörung immer dann verbunden, wenn die durch die Teilung geänderten Quantitäten ein bestimmtes Maß überschreiten.³⁵

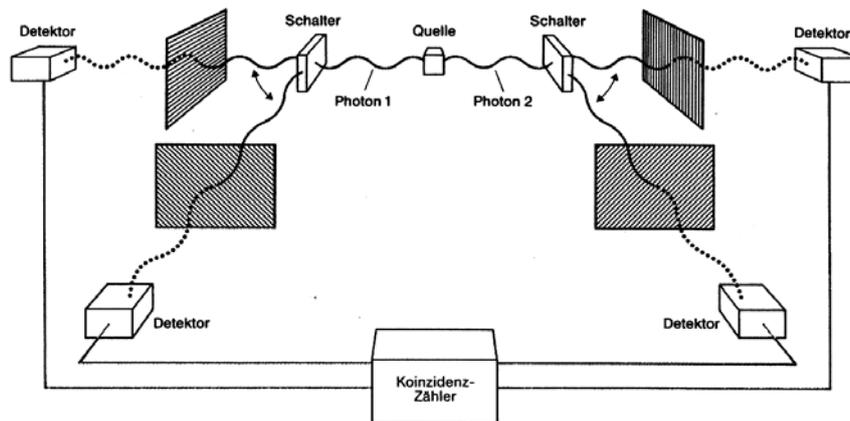


Abbildung 23 Einstein-Podolsky-Rosen-Korrelation. Jedes von einer Kalziumquelle ausgesendete Photon durchläuft einen zunächst bedeutungslosen Schalter und trifft auf ein Instrument, das seine Polarisation analysiert. Diese Analysatoren können verschieden orientiert sein und die Photonen entweder durchlassen oder festhalten. Die Quantenmechanik sagt – im Gegensatz zur klassischen Mechanik – voraus, dass zwischen dem Durchgang der Photonen oder ihrer Absorption durch die beiden Analysatoren eine Korrelation besteht, obwohl zwischen den beiden Lichtteilchen keine physikalische Wechselwirkung besteht und also kein Informationsaustausch möglich ist. Besonders wichtig ist hierbei die Möglichkeit, die Orientierung der Analysatoren schnell zu wechseln. Dies ist Aspect mit Schaltern gelungen, deren Umschaltzeit kürzer ist als die Laufzeit des Lichtes zu den Analysatoren. Das heißt, die Wahl der Polarisierung des einen Analysators kann die am anderen Analysator gemachte Beobachtung nicht beeinflussen. Die Koinzidenzmessungen zeigen nun, dass die Photonen korreliert sind, obwohl keine physikalische Wechselwirkung angenommen werden kann. (Quelle: [PRIMAS 1993])

Im Rahmen der Quantenphysik bekamen Physiker eine direkte Konsequenz der Unzerlegbarkeit zu spüren, siehe Abbildung 23. Aber das Denkmuster der Unzerlegbarkeit kann auch auf die übrige Wirklichkeit sinnvoll angewendet werden. Nicht nur, dass ein Lebewesen nicht in seine Organe zerlegt werden kann, ohne dessen Existenz zu beenden, auch eine rollende Kugel kann zur

³⁵ Zur Konstanz qualitativer Eigenschaften innerhalb eines quantitativen Bereiches, dem „Maß“ siehe [HEGEL 1832, Dritter Abschnitt (S. 354 ff.)].

Untersuchung ihrer Gesetzmäßigkeiten nur unter Verlust von Wirklichkeit in das Physiklabor geholt werden.³⁶

Spricht man von der „Zerlegung eines Ganzen in Teile, die dem Ganzen gleichartig sind“, kann deutlich werden, wie das, was wir zur Qualität zählen, von unseren eigenen Maßstäben abhängt: Die Teilung eines Sandhaufen führt zu zwei Sandhaufen. Für jemanden, der die Erosion studiert, besteht sehr wohl ein Unterschied zwischen dem einen großen und den zwei kleinen Haufen. Das heißt, je nachdem, was unsere Vorstellungen als „qualitativ gleichartig“ vorgeben, sind Systeme teilbar, zusammensetzbar oder unteilbar bzw. nicht zusammensetzbar. Das Beispiel der Erosion des Sandhaufens zeigt, wie sehr die Beurteilung, ob etwas ein – komplexes oder sich selbst organisierendes – System ist, oder eben nicht, von der Perspektive des Betrachters abhängt. Für jemanden, der die Erosionsprozesse beschreiben und modellieren will, handelt es sich zweifellos um einen Selbstorganisationsprozess, der die Erosionsformen hervorbringt. Für Bossel handelt es sich demgegenüber nicht um ein „System“, da er die Systemzugehörigkeit an der Zerstörbarkeit einer Ganzheit festmacht, die bei einem Sandhaufen „selbst nach Abtragen einer großen Menge Sand“ nicht in Frage gestellt wird³⁷. Ebenso wenig ist auch für Moritz ein Haufen Sand ein „komplexes System“ [BOSEL 1994, S. 16], [MORITZ 1995, S. 171].

Die totale Wirklichkeit wird zum Zweck ihrer Erkenntnis zerlegt. Der Wahrnehmung kommt dabei die Rolle des analysierenden Herauslösens von Teilaspekten in mehrfacher Weise zu.

4.1.2 Sukzessivität

Wahrnehmung setzt eine willentliche Absicht oder zumindest eine unbewusste Bereitschaft zur Wahrnehmung voraus – aus der eine willentliche Absicht zur genaueren Wahrnehmung entspringt, sobald irgendein Interesse geweckt wurde. Die Beobachtungsabsicht macht Sinnesmodalitäten oder Modalitätskomplexe zum Brennpunkt des Interesses. Dieses Richten der Aufmerksamkeit löst aus einer eher diffusen Globalwahrnehmung Teilbereiche heraus. Eine erste Differenzierung ergibt sich demnach schon daraus, dass der Mensch die Welt nur Beobachtung für Beobachtung erfahren kann.

4.1.3 Differenzierung durch Spezialisierung der Sinnesorgane und ihrer instrumentellen Erweiterungen

Bedingt durch die Spezifizierung unserer Sinnesorgane erfolgt eine weitere Differenzierung (ausführlicher in [DONNER 2001]): Der Tastsinn erfasst andere Eigenschaften als der Sehsinn oder der Geruchssinn oder das Voltmeter oder das Messband. Jeder Sinn ermöglicht auf seinen Bereich (qualitativ) spezialisiert und innerhalb des Bereiches (quantitativ) differenzierte Erfahrungen.

4.1.4 Begriffliche Gliederung

Mit der Beobachtung geht weiterhin eine begriffliche Differenzierung einher: Die Welt des Erwachsenen ist begrifflich durchwoben, in Einzelheiten gegliedert. Um etwas deutlich zu erkennen, müssen die Aufmerksamkeit fokussiert und Wahrnehmungen ausgeblendet werden. Schon um ein Phänomen benennen zu können, muss es bestimmt, ein „Etwas“ [HEGEL 1832], begrifflich konturiert sein. Die dafür notwendigen Kriterien müssen denkend gebildet werden (differenzierendes Denken). Um einen Fakt als solchen zu erkennen, müsse man ihn gedanklich von seiner Umgebung trennen, heißt es dazu bei [ROZAK 1994, S. 105].

³⁶ Ob der Wirklichkeitsverlust relevant ist, wie bei der Zerlegung eines Lebewesens in seine Organe angenommen wurde, oder akzeptiert werden kann, auch die Sezierung toter Organismen bringt Erkenntnisgewinn, ist eine Frage des Beobachters.

³⁷ „Ein Sandhaufen ist kein System, weil sich zwar ein gewisser Systemzweck definieren lässt (Lagerung von Sand), weil aber selbst das Abtragen einer großen Menge Sand nichts an der Identität als Sandhaufen ändern würde.“ [BOSEL 1994, S. 16]

Der Gedanke, dass der beobachtende Mensch durch seine Wahrnehmung Teilaspekte der Wirklichkeit definiert und herausgreift, findet sich bei Kinnebrock als Folgerung der Quantenmechanik. Zusammengefasst geht er von der Frage aus, welche Form der Existenz Dinge wie Baum, Tasse oder Stuhl haben: „In unserem Denken sind es offenbar feste Größen, mit denen wir operieren.“ [KINNEBROCK 1999, S. 107 f.] Die Einheit, Abgeschlossenheit, dieser Dinge sei jedoch nicht in den Dingen:

„Würden wir so zum Beispiel die Einheit ‚Glas Wasser‘ definieren, müssen wir zunächst feststellen, daß in jeder Sekunde bei jeder Temperatur Milliarden von Molekülen verdampfen. Welche Molekülmenge definiert dann das Glas Wasser? [...] Nun könnte man vermuten, daß, obwohl eine quantitative Identifizierung nicht möglich ist, trotzdem eine existentielle Einheit hinter dem Objekt steht, eine Art verborgener Existenz. Dies würde der Einstellung Albert Einsteins entsprechen. Da aber die Experimente gegen die Einsteinsche Interpretation entschieden haben, entfällt auch diese Vorstellung. Da für uns ein ‚Ding‘ so etwas wie eine Einheit, eine Art absoluter Existenz darstellt, diese Einheit aber von der Natur nicht vorgegeben ist, kann es nur so sein, daß wir in unserer Vorstellung, in unserem Gehirn diese Einheit konstituieren. Wir selbst sind es, die Einheiten schaffen und in unseren Denkprozessen damit operieren. Wenn dem so ist, dann erschaffen wir die Realität in unserem Gehirn. Jede begriffliche Identifizierung greift aus der absoluten Realität einen Teilaspekt heraus und formt diesen zu einem Begriff.“ [KINNEBROCK 1999, S. 107 f.]

Wahrnehmung ist also auch bei Kinnebrock nicht Übertragung eines feststehenden Inhaltes von einer Stelle, einem Objekt, auf eine andere, dem Bewusstsein des Beobachters, sondern ist ein Prozess der „Entstehung von Etwas“. Entzweiung und Entgegensetzung sind Kennzeichen unseres begrifflichen Denkens: Begriffe werden verständlich aus ihrer Beziehung zu anderen, aus dem, was sie nicht sind: „Groß“ kann beispielsweise nur in Verbindung und Gegenüberstellung zu „klein“ gedacht werden.

4.1.5 Fazit

Die Begrenzung der Wirklichkeit auf eine überschaubarere Menge von Teilaspekten ist ein zentrales Prinzip unserer Wahrnehmung und Erkenntnis. Mit der Wahrnehmung wird die ganzheitliche Wirklichkeit dekomponiert und auf einzelne Aspekte reduziert. Die Teilung ist eine dreifältige und resultiert 1, aus der Differenzierung der Sinnesfelder, 2, aus der Sukzessivität der Beobachtungen und 3, aus der begrifflich differenzierenden Interpretation der Sinnesempfindungen. Herausgelöste Teile sind eine Folge der menschlichen Organisation, sie existieren nur in der Vorstellung. Das Herauslösen der Ereignisse aus ihren realen Zusammenhängen, die „Analyse“, ist die Grundlage für die Bildung von Erkenntnis, denn sie schafft erst die Möglichkeit, die Teile in der Synthese gedanklich bewusst zu verbinden. Ohne die – vom Menschen durchgeführte – Gliederung ist alles Eines. Hegel beschreibt dieses Eine als den „allgemeinsten und leersten Begriff, der aller Bestimmung entkleidet“ sei [HEGEL 1832]³⁸.

4.1.6 Richtungs- und Bewegungssinn im Prozess von Analyse und Synthese

Im Schaffen isolierter *Teile* hat der Gleichgewichtssinn eine wichtige Analysefunktion: Qualitativ Gleichartiges kann mithilfe der zugehörigen Richtungen voneinander unterschieden werden. Der Bewegungssinn lässt uns hingegen eine *Verbindung* erfahren, wenn wir uns von einem zum anderen bewegen: Räumlich von A nach B oder im Wandel eines Zustandes oder in der dialektischen Bewegung eines Begriffes. Bewegung kann qualitativer Art sein (etwas erhellt sich, lässt nach, ändert Farbe, Richtung oder Ton) oder begrifflicher Art sein (Änderung des gedanklichen Inhaltes bei der Entwicklung vom Begriff der Ursache zum Begriff der Wirkung). Bewegung verbindet Dinge ganz unabhängig von ihrer sonstigen qualitativen Bestimmung. Damit ist Bewegung das Pendant zur Unterscheidung qualitativ gleichartiger Dinge durch unterschiedliche Richtungen: Der Gleichgewichtssinn differenziert, der Bewegungssinn verbindet.

³⁸ Zitiert von <http://gabrieleweis.de/2-bildungsbits/philobits/phg3-10-dt-idealismus.htm>, 9.9. 2004.

4.2 Synthese durch Begriffsbildung

Vorbemerkung: Begriffe sind Beziehungen

Die im Vollzug der Wahrnehmung isolierten Einzelbeobachtungen lösen Fragen nach ihren Zusammenhängen aus. Da „die Begriffe [der geometrisch-physikalischen Theorie] dazu dienen, eine Vielheit von wirklichen und gedachten sinnlichen Erlebnissen in gedanklichen Zusammenhang zu bringen“ [EINSTEIN 1921], zielt Interpretation immer auf die Bestimmung eines Begriffes. Indem jeder Begriff Beziehungen zu dem, was er nicht ist und zu anderen gedanklichen Bestimmungen inkludiert, werden die (zusammenhangslosen) Erfahrungen durch die Bildung von Begriffen, die sich auf die Erfahrungen beziehen, gedanklich geordnet. Diese gedankliche Ordnung wird verstanden, da sie gedacht wird.

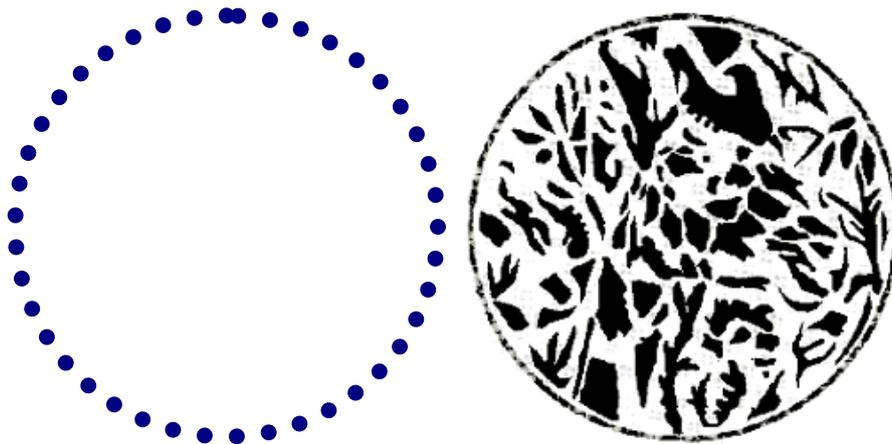


Abbildung 24 Die ordnende Wirkung von Begriffen. Links: Der Begriff des Kreises lässt einen Kreis erkennen, wo physikalisch nur Punkte sind. Rechts (Quelle: <http://www.permakultur-akademie.de/>, 11. November 2004): Der Begriff der Giraffe ordnet das Muster heller und dunkler Flächen.

Sehen wir auf Abbildung 24: Der Begriff des Kreises verbindet die einzelnen Punkte zu einem Ganzen, der Begriff „Giraffe“ ordnet die hellen und dunklen Flecken zu einer verständigen Ordnung. Das Einsetzen der aus den natürlichen Zusammenhängen isolierten, d. i. zusammenhangslosen Wahrnehmungen in das zusammenhängende Begriffssystem synthetisiert aus teilhaften Beobachtungen ein verständiges Ganzes. Durch diese synthetisierende Wirkung sind Begriffe die zu den Sinnesempfindungen fehlenden Elemente.

Die mit der Wahrnehmung einhergehende Dekomposition der (ohne Beobachter ungeteilten) Wirklichkeit ermöglicht zugleich ihre gedankliche Synthese. Begriffen kommt damit eine Doppelrolle von Differenzierung (Analyse) und Synthese zu: Indem ich ein Ereignis – beispielsweise in Ursache und Wirkung – gedanklich zerlege, setze ich es in den (Kausal-)Zusammenhang. Begriffe oder Definitionen verbinden Beobachtungen, Messergebnisse oder andere Bewusstseinsinhalte zu einem verständigen System (so auch [KANT 1787, S. 502], [EINSTEIN 1916, S. 89 f.] oder [EINSTEIN 1921]).

Die synthetisierende Wirkung von Begriffen und Definitionen ist in Abbildung 24 veranschaulicht. Die Art der in den Begriff inkludierten Beziehungen hängt von der Begriffsart ab: Die Beziehungen eines Nominalbegriffes, Beispiel: „Apfel“ bezeichnet, was süß, rund und rot ist, beziehen sich dann ebenfalls auf die äußerlichen Merkmale: Was nicht süß, rund und rot ist, ist kein Apfel. Die Beziehungen zwischen Funktionalbegriffen sind demgegenüber inhaltlicher Art: – „Ursache“ ist, was eine Wirkung nach sich zieht.

Die synthetisierende Wirkung von Begriffen kann dementsprechend auf zwei verschiedene Weisen erreicht werden: durch Nominaldefinition und durch Bildung funktionaler Begriffe.

4.2.1 Synthese durch Nominalbegriffe

Wenn ein Begriff auf einer *Auswahl von Merkmalen* beruht, spricht man von „Nominaldefinition“ (ausführlich z. B. bei [POPPER 1945]). Beispiele solcher selektiven Definitionen aus dem Umfeld des vorliegenden Aufsatzes sind die Zusammenfassung von Farben zum „Farbraum“ oder die Zusammenfassung von Orten zum „Ortsraum“ oder die Interpretationsschlüssel: Sie verbinden Gruppen sinnlich wahrnehmbarer Merkmale wie Farbe, Form, Textur, Größe oder Nachbarschaft zu Objekten.

4.2.2 Synthese durch Funktionalbegriffe

Demgegenüber betont ein *Funktionalbegriff* die konstruktive Wirkung des Begriffsinhaltes. Beispielsweise verweist ein Begriff des Kreises in der Mathematik auf ein Konstruktionsprinzip aller, auch der zukünftigen, Dinge dieser Art, wie man sich am Beispiel einer Kreisdefinition „Ein Kreis ist der geometrische Ort aller Punkte innerhalb einer Ebene, die von einem Punkt dieser Ebene, einen festen Abstand haben“, deutlich machen kann. Der Funktionalbegriff kann auch die Form eines Bedingungssatzes haben: „*Wenn* bestimmte Bedingungen vorliegen, *dann* tritt auch ein bestimmtes Phänomen ein“.

Zu den Funktionalbegriffen gehören nicht nur Dinge aus Mathematik und Technik (z. B. „Radio“). Auch der gedankliche Zusammenhang, den man aus dem Zusammendenken verschiedener Bewusstseinsinhalte so bildet, als wären die Beobachtungen aus ihm hervorgegangen ist ein Funktionalbegriff. Zwei Beispiele: 1, Der rechteckige Tisch, den man aus verschiedenen Perspektiven gedanklich konstruiert, ist das die Einzelsichten verbindende Prinzip. 2, Die Legende über den Arzt John Snow (1813–1858), der das Aufkommen von Cholerafällen in London kartierte, siehe Abbildung 42 auf Seite 129, wodurch es ihm 1854 gelungen sein soll, einen hypothetischen Zusammenhang zwischen der Cholera und der Wasserentnahme an einer bestimmten öffentlichen Pumpe herzustellen.³⁹ Der Gedanke, „Das Wasser dieser Pumpe ist verseucht“, verbindet die kartierten Cholerafälle.

Funktionalbegriffe sind durch semantische Beziehungen zwischen den sie bildenden Komponenten bestimmt. Die in der Definition enthaltenen Begriffe (im Beispiel der erstgenannten Kreisdefinition wären das „Radius“, „geometrischer Ort“, „Punkt“, „Ebene“, „Abstand“, „gleich“ und „liegen in“) müssen bereits klar sein, um den Begriff des Kreises als die gedankliche Beziehung zwischen ihnen bilden zu können. Was durch diesen Satz hinzukommt und über die einzelnen Elemente hinausweist, ist seine *Funktionseinheit*, sein innerer struktureller Zusammenhang. Man muss für deren Bestimmung auf schon bekannte Elemente zurückgreifen und erhält die Antwort aus einem Zusammenhang. Bei technischen und mathematischen Dingen stehen die Begriffe in einem wechselseitigen Zusammenhang, d. h.: Wollte man nach den Bedeutungen der Elemente der Kreisdefinition fragen, müsste man für deren Bestimmung wieder auf schon bekannte Elemente zurückgreifen und erhielte die Antwort erneut aus einem Zusammenhang sich gegenseitig bestimmender Elemente⁴⁰. Die Beziehungen zwischen ihnen sind erst noch zu bilden. Beziehungen sind das Wesentliche eines jeden Funktionalbegriffes, Begriffe sind vor allem strukturelle Zusammenhänge.

Daran kann Benennen von Verstehen unterschieden werden: Für die Bildung von Verständnis kommt es darauf an, ein Phänomen an seiner Funktionalität zu erkennen, während eine Merkmalskombination mit einem Namen benannt werden kann. Der funktionale Zusammenhang ist immer eine gedankliche Bestimmung. Ganz analog, wie man nicht Farbe und Form der Buchstaben, sondern ihren semantischen Gehalt wahrnimmt, wenn man das Wort versteht. Entdeckt

³⁹ Für den historischen Hintergrund vergleiche <http://www.ph.ucla.edu/epi/snow/broadstreetpump.html>, 19.1.2007.

⁴⁰ Als Beispiel kann auf die von David Hilbert entwickelte Axiomatik der euklidischen Geometrie („Grundlagen der Geometrie“ Leipzig 1899) verwiesen werden.

man durch die Bildung eines geeigneten Funktionalbegriffes den Zusammenhang, welcher der Erscheinung als regelndes Element zugrunde liegt, versteht man das Phänomen aus den zugrundeliegenden *semantischen* Beziehungen heraus. Die Erscheinungen sind inhaltlich begründet: Für die Regulierung des Flusses wurde sein Verlauf begradigt, die Ufer wurden befestigt und die Mäander werden nicht mehr vom Hauptstrom durchflossen. Um ein Phänomen zu *verstehen*, kommt es darauf an, die äußere Form als Ausfluss innerer Beziehungen zu erkennen. Diese „inneren Beziehungen“ sind die denkend fassbaren regulativen Prinzipien.⁴¹ Das Erkenntnisstreben des Menschen ist, nebenbei gesagt, immer auf diese inhaltlichen Beziehungen gerichtet, nur dort wo sie nicht erreicht werden, gelangen die äußeren Erscheinungen ins Bewusstsein.

Beim Hören eines Textes ist Verstehen das Erfassen des gedanklichen Sinnes. Ein Nicht-Lateiner wird den Satz „Omnes puellae pulchrae sunt“ nicht verstehen, solange er den Sinn nicht erfassen kann. Kennt er die Vokabeln, können den Worten per Nominaldefinition Bedeutungen zugeordnet werden. Die Aussage des gesamten Satzes lässt die Anordnung und Flexion der einzelnen Worte, die Betonung, das Heben oder Senken der Stimme, die Sprechgeschwindigkeit, summa summarum die Erscheinungsformen der Worte im aktuell gesprochenen Satz, verständlich werden. Die Satzaussage ist das die Erscheinungen verbindende Prinzip. (These 4) Die formale Zuordnung von Bedeutungen zu bestimmten Merkmalskomplexen kann vom Erschließen oder Einsehen des verbindenden Prinzips unterschieden werden. Letzteres wird als Verstehen bezeichnet. (These 7)

4.2.3 Synthese durch Gegenstandsbildung

Im Alltag werden Sinnesempfindungen zu zusammenhängenden Gestalten, „Gegenständen“, zusammengefasst. Die Ordnung der Sinnesempfindungen folgt dabei nicht nur äußerlichen Homogenitäts- und Ähnlichkeitskriterien, beobachteten Richtungen, der Reihenfolge der Beobachtungen, erfahrenen Bewegungen oder den Gesetzen der Gestaltpsychologie. Die Begriffe „Raum“ und „Zeit“ spielen im Aufbau gedanklicher Verbindungen zwischen den Sinnesempfindungen eine wichtige Rolle. Sie sind die Begriffe, welche die Sinneserlebnisse in eine erste, grundlegende Ordnung bringen. Dies ergibt sich aus den Darstellungen in Kapitel 7. Die Gestaltpsychologie zeigt, dass der gedankliche Zusammenhang nicht allein aus einem räumlichen oder zeitlichen Zusammentreffen seiner Teile entsteht, sondern dass sich durch die Wirkung „ganzheitlicher Kräfte“ eine spontan regulierende dynamische Ganzheit bildet [STRÜBER, 1987]. Diese „ganzheitlichen Kräfte“ können nicht nur Erinnerungen an bestimmte Gegenstände, sondern eben auch Funktionalbegriffe, zum Beispiel die von Raum und Zeit, sein.

4.2.4 Die schöpferische Synthese durch selbstorganisierende Begriffsbildung

Sofern die Deutung einer Erfahrung mit einem in der Vergangenheit gebildeten Begriff misslingt oder der entsprechende Oberbegriff nicht befriedigt, sucht man nach neuen gedanklichen Zusammenhängen, die das Beobachtete verständlich werden lassen. Begriffen kommt dabei eine Doppelrolle zu: Sie greifen aus dem Totum Teile heraus, setzen Akzente, grenzen gegen anderes ab und verbinden die Teile gedanklich; kurz: Sie gliedern und verbinden. Verfeinerte Begriffe führen zu einer genaueren Beobachtung, letztere wieder zu verbesserten Begriffen usf. Die Einsicht in die Zusammenhänge im Erscheinungsfeld ergibt sich unmittelbar aus der Erfahrung in einem Prozess echt empirischer Begriffsbildung. Begriff und Beobachtung organisieren sich selbst.

Das Denken mit sich ständig ändernden Bedeutungen ist als Handlungsgrundlage wenig geeignet. Daher bedarf es Fest-Stellungen, „Definitionen“. Das Fällen feststellender, definierender, Urteile beendet die begriffliche Entwicklung. Aus Urteilen können nach den Gesichtspunkten der Logik

⁴¹ Die Kategorien, mit den Hegel das Verhältnis zwischen äußerlichen Merkmalen und den dahinterliegenden Prinzipien beschrieb sind „Wesen und Erscheinung“.

Schlüsse gezogen oder Modelle konstruiert werden. Wendet man Definitionen auf Naturdinge an, gleichen sie fixierten Momentaufnahmen einer sich ständig ändernden Begriffswelt. Solche Definitionen verbinden eine gewählte Gruppe von Eigenschaften mit einer Kurzbezeichnung [POPPER 1945]. Diese Art von Definition ist eine bloße Namensklärung, „Nominaldefinition“. In ihr wird nur gesagt, was der Definierende unter ihr verstanden haben will. Die Inhalte solcher Nominaldefinitionen sind auch abhängig vom erreichten Kenntnisstand. In dieser Hinsicht sind sie willkürlich.

4.2.5 Naturerkundende und technikorientierte Synthese

Auch im gängigen wissenschaftlichen Dreischritt – Beobachtung, Bildung einer Hypothese, Verifikation bzw. Modifikation der Hypothese – entstehen aus gedankliche Aufstellungen „Modelle“ oder „Theorien“, mit denen gewonnene Erfahrungen geordnet werden können und die zu verfeinerten Beobachtungen und zu modifizierten Begriffen führen. Dafür entwickelt man Experimente, welche geeignet sind, die Hypothese zu bestätigen, zu modifizieren oder zu widerlegen. Da deren Entwurf und Ausführung auf die Verifizierung der Hypothese gerichtet ist, hat in dieser Phase der gedankliche Zusammenhang (die Hypothese) eine maßgebliche Funktion. Diese Forschungsstrategie kann daher als „theoriegeführt“ oder als „modellgeführt“ bezeichnet werden. In einigen Elementen bestehen Analogien zwischen Original und verifiziertem Modell, in anderen weichen sie voneinander ab. Der Unterschied gegenüber der „schöpferischen Synthese durch Selbstorganisation der Begriffe“ liegt vor allem im Erkenntnisziel: Etwas zu erfassen, wie es von sich aus ist oder modellierbar, technisch nachvollziehbar, nutzbar und letztlich beherrschbar zu machen. Diese unterschiedliche Ausrichtung äußert sich in der Gewichtung der Hypothesenbildung, in der Stellung des gedanklichen Zusammenhanges und im Beweisverfahren. Während die Erkundung, wie etwas ist mit der Bildung eines Prinzips, aus dem die Beobachtungen hervorgegangen sein können, abgeschlossen ist, ist es in der technikorientierten Naturwissenschaft nachrangig, woher die Hypothese stammt, entscheidend ist ihre möglichst „blinde“ Bestätigung im Experiment und das Fehlen eines ernsthaft gesuchten Gegenbeispiels.

4.2.6 Wechselseitige Mehrdeutigkeiten

Die Beziehung zwischen der Erscheinung und einem Zusammenhang stiftenden Begriff ist, wie aus Abschnitt 3.1 hervorgeht, mehrdeutig: Eine Erscheinung kann mehrere Bedeutungen tragen und umgekehrt kann der Inhalt einer Nominaldefinition oder eines Funktionalbegriffes in verschiedener Weise erscheinen. (Ansätze, diese Mehrdeutigkeiten in der automatisierten Bildinterpretation zu berücksichtigen, finden sich bei [BÄHR 2001] oder [TADEUSIEWICZ 2004a und b].) Es sei noch angemerkt, dass Mehrfachdeutungen auch wissenschaftsmethodisch zulässig sind, mindestens seit der Akzeptanz des Doppelcharakters des Lichtes („Welle-Teilchen-Dualismus“).

4.2.7 Was tragen Modelle zur Erkenntnis der Wirklichkeit bei?⁴²

Die Denkweise, modellhafte Mechanismen zu suchen, die die beobachteten Phänomene plausibel erklären, war außerordentlich erfolgreich, denn sie ist der Weg über eine Quantifizierung und

⁴² Im Bereich der Ökosystemlehre ist das Verhältnis von Modell und Wirklichkeit in der Fachliteratur wesentlich stärker präsent als in der Geoinformatik. Da sich die Schritte der Modellbildung im Grundsatz unabhängig vom fachspezifischen Zweck gleichen, sei die Modellierung anhand von Aussagen aus diesem Bereich reflektiert. 1999 wurden von Jørgensen über 4000 Modelle aus dem Bereich der Forschung vorgestellt [JØRGENSEN 1999], und ständig kommen weitere hinzu [WU & MARCEAU 2002]. Ein qualifizierter Überblick über die Modellbildung in der Ökologie – gestützt auf Konzepte vielfältiger theoretischer Ausgangspositionen von der Thermodynamik über Exergie, Selbstorganisation und Emergenz, Kybernetik, Informationstheorie, Hierarchietheorie, Netzwerktheorie, Katastrophen-, Chaos- und Fraktaltheorie bis zu Nutzentheorie und Quantenmechanik – ist bei [JØRGENSEN & MÜLLER 2000] oder [MÜLLER 1997] oder bei [JØRGENSEN, HALLING-SØRENSEN & NIELSEN 1995] zu finden. Da es hier nur um methodische Grundfragen geht, soll die Bedeutung von Modellen als Erkenntnismethode umrissen werden. Dazu genügt diese äußerst bescheidene, populäre Andeutung. Für alles andere kann und muss auf die Literatur verwiesen werden, für eine aktuelle Reflexion der ökologischen Modellierung insbesondere auf die Zeitschrift *Ecological Modelling* (<http://www.sciencedirect.com/science/journal/03043800>).

mathematische Beschreibung zu einer technischen Erfindung zu gelangen. Mit ihrer Hilfe wird das Hervorbringen bestimmter Zustände simuliert. Wesentliches Charakteristikum eines Modells ist die Rückführung einer – wie auch immer bestehenden – Struktur beobachteter Eigenschaften auf bekannte Zusammenhänge. Die konstitutive Rolle der – nicht aus der Sinneserfahrung, sondern aus dem Denken zur Wahrnehmung hinzugefügten – Verbindungen beherbergt die Gefahr von Vorurteilen: Sie besteht dann, wenn Zusammenhänge aus einem anderen Erfahrungsbereich übertragen werden, ohne sich der Grenzen der Gültigkeit dieser Betrachtungsweise bewusst zu sein. Vorurteile stellen aus anderen Bereichen übernommene Denkmuster vor die aktuelle Erfahrung. Sie erreichen eine Vergleichbarkeit auf Kosten des Spezifischen der aktuellen Situation. Diese Stellvertretung der konkreten Wirklichkeit durch ein Modell ist gerade das, was ein Modell ausmacht. Leser [LESER 1997a und b] und Köck [KÖCK 1997] erheben dementsprechend gar nicht den Anspruch, die Wirklichkeit mit Modellen zu beschreiben (siehe Abschnitt 1.1). BosseL sagt, bezogen auf den Wert der Modellbildung für das Verständnis ökologischer Phänomene:

„In der Ökosystemforschung ermöglichen systemtheoretische Ansätze ein besseres Verständnis des oft komplexen, dynamischen Verhaltens von Teilsystemen oder des Gesamtsystems, wie auch prinzipiell die Spezifizierung von Maßnahmen zum Erreichen bestimmter Ziele.“ [BOSSEL 1997]

Jørgensen & Müller schreiben, dass Modelle in der Lage seien, neues Wissen über Reaktionen und Eigenschaften des Gesamtsystems zu liefern, was für die Entwicklung der Ökosystemtheorie sehr nützlich ist. [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]⁴⁵

Die beiden Standpunkte kennzeichnen die Pole eines weiten Feldes. An dessen einem Ende stehen rein hypothetische Modelle, welche „Erscheinungen durch Rückgriff auf hinter der Erscheinungsebene liegende Entitäten“ [STEINLE 2002] oder gedanklich konstruierte Ursachen erklären (These 21). Dieselben Erfahrungen können mit verschiedenen, sich gegenseitig ausschließenden Theorien gedeutet werden. Solche spekulativen Theorien müssen beim Aufkommen mit ihnen nicht vereinbar Beobachtungen in ihrer Gültigkeit eingeschränkt oder modifiziert werden. Sie haben den Status stets vorläufiger Hypothesen. Sie dienen der Berechenbarkeit und technischen Simulation der Wirklichkeit. Da sie beschreiben, was in der Vergangenheit beobachtet wurde, bezieht sich ihre Prognosefähigkeit auf Wiederholungsfälle: Ob eine im Modell erstmals simulierte neue Eigenschaft oder eine bekannte Eigenschaft in neuer Intensität in der Natur tatsächlich eintritt, kann nicht vorausgesagt werden, da nicht bekannt ist, ob das Modell auch für diesen Fall gültig ist. Modelle dieser Art tragen wegen ihrem spekulativen Charakter nichts zum Verständnis der beobachteten Phänomene bei. Bestenfalls sind sie Anregungen, nach Erfahrungen in einer bestimmten Richtung zu suchen. Unbenommen davon können sie brauchbare Hilfsmittel zur Systematisierung und Handhabung von Naturvorgängen sein.

Am anderen Pol stehen Modelle, die sich in einem viel stärkeren Maße an das Beobachtete halten. Sie sind systematisierende und synthetisierende Beschreibungen der Erfahrung. Die konkreten Inhalte des Modelles und deren gegenseitigen Beziehungen haben mit der Erfahrungswelt einen sachgemäß zu interpretierenden Inhalt. Sie können das Verständnis und die Kommunikation erleichtern, fügen ihm jedoch nichts Substanzielles hinzu, was nicht aus den Beobachtungen ersichtlich wäre. Das Modell repräsentiert genau denselben begrifflichen Gehalt wie die ursprünglichen, an der Erfahrung gebildeten Begriffe. Daher sind sie – wie diese – bestimmte Interpretationen der Erfahrung. Und sie sind – wiederum wie Begriffe – Erkenntnismittel, denn sie ordnen durch ihre Verbindungen (im Inneren und zu anderen Modellen) Erfahrungen in das Begriffssystem ein.

Durch die Beobachtung und durch die Interpretation der Sinnesempfindungen als körperliche Gegenstände und isolierte Prozesse (Analyse) wird die Kontinuität der Ereigniswelt unterbro-

⁴⁵ Wörtlich: „Models are able to provide new knowledge about the reactions and properties of the entire system which is very useful for the development of ecosystem theory.“ [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]

chen. Das Herstellen von (gedanklichen) Beziehungen zwischen den isolierten Teilen (Synthese) schafft einen ersten Grad von Erkenntnis. Diese Art geistiger Einheit kann sich auf die äußerlichen Merkmale beziehen (Nominaldefinition): Aus Farbflecken werden zusammenhängende und von anderen unterscheidbare Flächen und Kanten zwischen ihnen und in der Folge aus diesen wiederum Körper usw. Erfahrungen lassen sich jedoch nicht durch das Aufstellen formaler Beziehungen verstehen. Das Verständnis einer Sache bedarf begriffsinhaltlicher Beziehungen zwischen den Beobachtungen. Die formale Anwendung oder das inhaltliche Verständnis funktionieren analog, wie aus der Mathematik bekannt: Wer den Begriff des Kreises kennt, kann alle Kreise in ihrer unendlichen Vielfalt erkennen und in sein Verständnissystem einordnen. Bezogen auf Naturphänomene ist Verstehen das Herstellen der gedanklichen Einheit in der Vielfalt der Erscheinungsweisen eines Phänomens⁴⁴. Man sucht nicht das äußerliche Muster, sondern man sucht das, woraus die einzelnen Erscheinungen hervorgegangen sein könnten, das verbindende Prinzip.

Beobachtete Beziehungen einerseits und Begründungszusammenhänge andererseits haben unterschiedlichen Erkenntniswert, den von Fakten oder den von Spekulationen. Irgendwelche nicht sichtbaren, hinter den Phänomenen vermuteten Vorgänge sind spekulative Hypothesen. Vielfach dienen sie als Beschreibung, wie bestimmte Phänomene technisch simuliert werden könnten. Um zu verstehen, was etwas ist, hat die Beobachtung nicht nur frei von spekulativen Modellen zu erfolgen. (These 9) Idealerweise decken die Beobachtungen die vielfältige Erscheinungsweise des zu untersuchenden Phänomens möglichst vollständig ab. (These 10)

Fazit

In der Ökosystemlehre wird eine allgemeine Vorrangigkeit quantitativer Analysen gegenüber qualitativen Betrachtungen besonders gut sichtbar. Die quantitativ-mathematische Modellbildung – für Bossel und für Jørgensen & Müller Werkzeug für ein besseres *systemtheoretisches* Verständnis – hat den Vorzug einer – gegenüber der Sinneswirklichkeit – leichteren Durchschaubarkeit und Handhabbarkeit [BOSEL 1997], [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]. Wenn man jedoch unter Wirklichkeit dasjenige versteht, bei dem die unmittelbare Verbindung von Sinneserfahrung und Begriff vollzogen werden kann, haben diese Ansätze ihre Vorteile durch den Verlust der Wirklichkeit erkaufte: Differentialgleichungen lassen sich nicht beobachten. Jedes qualitativ neuartige Berechnungsergebnis ist zu prüfen, inwieweit es in der Natur vorgefunden werden kann oder ob es zu dem Teil des Modells gehört, in welchem sich Wirklichkeit und Modell unterscheiden. Darin zeigen sich die bekannten Grenzen des Gültigkeitsbereiches des Mathematisch-Logischen: Ob ein durch einen Verkehrsweg zerschnittener Wald noch ein Wald, zwei Wälder oder keiner ist, lässt sich nicht a priori durch das Lösen einer einfachen Divisionsaufgabe berechnen.

Begriffs- und Modellbildung sind unterschiedlich. Modellbildung beruht auf Vergleichbarkeit. Diese setzt eine Klassifizierung voraus, bei der a priori bekannt ist, welche Merkmale wesentlich und welche vernachlässigbar sind, denn stets wird beim Vergleich etwas miteinander verglichen, was in einer Hinsicht vergleichbar ist, in anderer nicht. In Beziehung auf ihre Zugehörigkeit zum Obst können Äpfel und Birnen miteinander verglichen werden, in anderer Hinsicht nicht. In der Begriffsbildung kommt es auf die Vielfalt der Erscheinungsweise, nicht auf die Vergleichbarkeit repräsentativer Phänomene an. Erst am Ende der Begriffsbildung wird das für diesen Begriff Wesentliche vom Unwesentlichen geschieden. Diese Unterschiedlichkeit macht unterschiedliche Forschungsmethoden erforderlich. (These 21)

⁴⁴ Wissenschaftshistorisch ist hier an Goethe anzuknüpfen, der mit seiner „Farbenlehre“ beispielhaft zeigt, wie die Invariante, die Farbe, in der Vielfalt der Variablen, den Farberscheinungen, erforscht werden kann.

4.3 Mathematik als Technik und als Erkenntnismethode

Will man über die Beschreibung von Sinneserlebnissen hinausgehen, müssen die Beobachtungen gedanklich geordnet werden. Fällt der durch Beobachtungen angeregte gedankliche Zusammenhang intuitiv „vom Himmel“, ist seine Gültigkeit zu verifizieren. Die Verbindung zwischen Beobachtung und gedanklicher Interpretation ist als Schwachpunkt der Naturerkenntnis bekannt. Im Folgenden wird versucht, eine Alternative zur nachträglichen Verifikation einer intuitiv gefundenen Idee zu begründen.

Mathematik nimmt in den Naturwissenschaften, in den technischen und in den beschreibenden Wissenschaften einen wichtigen Platz ein: Kommt man anfangs um eine verbale Beschreibung oder Abbildung nicht umhin, hat doch immer am Ende eine Quantifizierung stattzufinden. Nicht nur, um die gefundenen Zusammenhänge mathematisch abbilden zu können, sondern vor allem, um akzeptiert zu werden. „Ich behaupte aber, daß in jeder besonderen Naturlehre nur so viel eigentliche Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist“ [KANT 1786], bringt es 1786 Immanuel Kant auf den Punkt. Von den Vorteilen der Mathematisierung hat einer besondere Bedeutung: Quantifizierung und Anwendung mathematischer Berechnungsverfahren vermitteln ein hohes Vertrauen in die Richtigkeit des so Dargestellten. Sofern man unterstellt, Erkenntnisse durch Messungen und Mathematik objektivieren zu können, ist die Kombination von beiden ausgesprochen effektiv: Mit Instrumenten werden Naturgrößen quantitativ, also in Zahlenform und „unabhängig vom Subjekt“ erfasst, und dann nach den Gesetzen der Algebra – ebenfalls unabhängig vom Subjekt – ausgewertet. Ein Berechnungsverfahren, dessen Vorausberechnungen regelmäßig mit nachfolgenden Beobachtungen übereinstimmt, genießt höchste Glaubwürdigkeit. Die Gewissheit der Mathematik liegt in der sich gedanklich erschließenden inneren Notwendigkeit ihrer Gedankeninhalte. Man kann mitdenken, wie ein Ergebnis entsteht. Die Fähigkeit des Berechnens ist sehr befriedigend. Man glaubt verstanden zu haben, wie das eine aus dem anderen entsteht. Darin liegt meines Erachtens der Hauptgrund für die Verbreitung der Mathematik in beschreibenden und Naturwissenschaften: Man meint die gewonnenen Erkenntnisse auf eine gedanklich nachvollziehbare Grundlage zu stellen und so eine gewisse Sicherheit zu erreichen. In einer historischen Betrachtung drückt Ziegler das so aus:

„Das Vertrauen in die innere Folgerichtigkeit der Mathematik und ihre schier unbegrenzten Möglichkeiten wuchs [nun] in ungeahntem Maße: die von den Fesseln der Anschauung frei gewordenen, in ihren inneren Bezügen klar gelegten mathematischen Begriffe wurden endgültig zum Vorbild aller exakten naturwissenschaftlichen Bestrebungen überhaupt erhoben. [...] Die Mathematik war nicht mehr nur ein Instrument naturwissenschaftlicher Erkenntnis, sondern stellte das Begriffsnetz dar, in welches die gesamte Mannigfaltigkeit der Natur letztlich eingefangen werden sollte“ [ZIEGLER 1987]

– und die mathematische Modellierung wurde die vorherrschende naturwissenschaftliche Methode. Kants Anspruch wurde im 20. Jahrhundert zum Allgemeingut.

Dem Ziel einer Sicherheit der erreichten Erkenntnis stehen bei *Anwendung* auf naturwissenschaftliche Fragen indes Merkmale der Mathematik selbst gegenüber: „Obersatz: Das Positive ist das Gegenteil seines Gegenteils. Untersatz: Das Negative ist das Gegenteil des Positiven. Conclusio: Das Negative ist nicht das Gegenteil seines Gegenteils, sondern das Gegenteil seiner selbst.“ Liebrucks' (1911–1986) syllogistischer Beweis, der berühmte Ausruf eines Kreters „Alle Kreter sind Lügner!“, oder andere Antinomien zeigen das Anwendungsfeld der Logik⁴⁵: Es werden *Voraussetzungen gesetzt* (d. h. die Welt wird auf eine a priori vorgegebene Weise gedeutet) und dann wird bestimmt, ob unter diesen Voraussetzungen auf Fragen richtig geantwortet worden ist. Die logische Richtigkeit eines abgeleiteten Urteils ist von dessen Übereinstimmung mit der Erfah-

⁴⁵ Schon Kant stellte fest, dass wir zu einander widersprechenden Ergebnissen kommen, selbst wenn wir formallogisch richtig denken. Beispielsweise zeigt Kant, dass sich formallogisch beweisen lässt, dass die Welt in Raum und Zeit endlich, andererseits, dass sie unendlich ist. (1. Antinomie) Es ist also möglich, dass etwas formallogisch völlig korrekt, aber empirisch falsch ist (nach <http://www.wegbegleiter.ch/werke/wissen/logikvor.htm>, 22.12. 2005).

rung, seiner „Gültigkeit“, zu unterscheiden. Mit Logik wie mit Algebra können bekanntlich weder die Gültigkeit eines mathematischen Ergebnisses noch ihre eigenen Voraussetzungen (was sind Raum, Quantität, Widerspruch oder Zahl) abgeleitet werden. Sie sind formale, vom Inhalt getrennte Handlungsanweisungen, Regelwerk. Inhaltliche Kriterien der Gültigkeit müssen auch *inhaltlich* betrachtet werden. Damit ist die berechnete Anwendung der Mathematik in Natur- und beschreibenden Wissenschaften auf die Modellierung des Verhaltens zwischen *qualitätslosen* Zahlen beschränkt. Alles, was darüber hinaus geht, beispielsweise ob sich die zu verrechnenden Zahlen auf die gleiche physikalische Einheit beziehen, partizipiert nicht mehr von Durchschaubarkeit und Sicherheit der Mathematik.

Ein neuer Aspekt eröffnet sich, wenn man zwischen der Anwendung mathematischer Verfahren und der Fortentwicklung der Mathematik differenziert, wie es Steiner in seinen „Einleitungen zu Goethes naturwissenschaftlichen Schriften“ [STEINER 1887] getan hat: Angewandte Mathematik sei Werkzeug, weil in ihr Mittel (die Anwendung mathematischer Inhalte) und Zweck (Modellierung empirischer Messgrößen) auseinanderfallen. Ihre Zwecke seien der Mathematik nicht eigen, sondern äußerlich vorgegeben. Weder seien die Rechnungsarten aus dem Begriff der Zahl abgeleitet, noch dienen sie der Bestimmung des Begriffes der Zahl. Die mathematische Denkungsart besteht nach Steiner darin, komplexe Erscheinungen auf einfache, nicht weiter reduzierbare Grundtatsachen zurückzuführen und diese so aneinander zu reihen, dass der nächste Schritt aus dem vorigen hervorzugehen scheint. Bereits Plato⁴⁶ erkannte im strengen Aufbau der Mathematik des Einen auf dem Anderen eine besondere Denkweise. Einen Ansatz, die Gewissheit mathematischer Beweise auch in der Verbindung von Erfahrung und gedanklicher Deutung zu erreichen, findet man bei Descartes:

„Jene langen Ketten ganz einfacher und leichter Begründungen, die die Geometer zu gebrauchen pflegen, um ihre schwierigsten Beweise durchzuführen, erweckten in mir die Vorstellung, daß alle Dinge, die menschlicher Erkenntnis zugänglich sind, einander auf dieselbe Weise folgen und daß, vorausgesetzt, man verzichtet nur darauf, irgend etwas für wahr zu halten, was es nicht ist, und man beobachtet immer die Ordnung, die zur Ableitung der einen aus den anderen notwendig ist, nichts so fern liegen, daß man es nicht schließlich erreichte, und nichts so verborgen sein kann, daß man es nicht entdeckte. [...] Bedachte ich, daß unter allen, die bisher in den Wissenschaften die Wahrheit gesucht haben, allein die Mathematiker Beweise, d. h. sichere und evidente Gründe hatten finden können, so zweifelte ich nicht, daß ihnen dies eben wegen der Einfachheit und Durchsichtigkeit der Gegenstände ihrer Untersuchungen gelungen ist; trotzdem erhoffte ich keinen anderen Nutzen von einer Beschäftigung damit, als daß sie meinen Geist daran gewöhnten, Geschmack an der Wahrheit zu finden und sich nicht mit falschen Beweisen zufrieden zu geben.“ [DESCARTES 1637, II–11]

Johann Wolfgang Goethe machte 1793 auf die mathematische Denkweise als die sorgfältige und lückenlose Zurückführung komplexer Erscheinungen auf einfache, nicht weiter reduzierbare Grundtatsachen aufmerksam:

„Diese Bedächtlichkeit, nur das Nächste ans Nächste zu reihen oder vielmehr das Nächste aus dem Nächsten zu folgern, haben wir von den Mathematikern zu lernen, und selbst da, wo wir uns keiner Rechnung bedienen, müssen wir immer so zu Werke gehen, als wenn wir dem strengsten Geometer Rechenschaft schuldig wären. Denn eigentlich ist es die mathematische Methode, welche wegen ihrer Bedächtlichkeit und Reinheit gleich jeden Sprung in der Assertion offenbart [...]“ [GOETHE 1793]

„Mathematische Methode“ bezeichnet hier ein allgemeines methodisches Prinzip naturwissenschaftlicher Erkenntnis, gemäß welchem sich die Forschung an dem strengen Aufbau der Mathematik orientieren soll, wie er mit Euklids „Elementen“ zwei Jahrtausende zuvor gelehrt wurde. Sie ist in Bezug auf die Mathematik nicht Technik, die formal angewendet werden kann, sondern eine Methode zur Entwicklung ihrer Inhalte. Das Prinzip ist insbesondere gekennzeichnet durch Klarheit, Überschaubarkeit und vor allem durch innere Folgerichtigkeit; man sieht und versteht die Denkbewegung einer Abhandlung.

⁴⁶ „Politeia“, siehe <http://www.wegbegleiter.ch/werke/wissen/logikvor.htm>, 22.12. 2005.

Fragen beantworten sich erst dann, wenn man den Weg der Denktätigkeit klar durchschaut, der zu ihrer Beantwortung führt. Das ist bei spontanen Intuitionen nicht der Fall, sie besitzen diese Durchschaubarkeit nicht. Auch wenn intuitive Einfälle nicht nur in der Mathematik eine große Rolle spielen, haben sie zufälligen Charakter und unterstehen nicht der Kontrolle des eigenen Denkens. (Gauß: „Ich habe mein Ergebnis gefunden. Aber ich weiß noch nicht, wie ich es finden soll.“ [POPPER 1945, S. 78]) Um die Gedankenbildung zu durchschauen müssen die Beobachtungen so geführt werden, dass sich aus ihnen der Gedankenweg in aller Klarheit unmittelbar ergibt, allein aus der *voraussetzungslosen* Beobachtung muss sich der gedankliche Zusammenhang ergeben. „Man beobachtet immer die Ordnung, die zur Ableitung der einen aus den anderen notwendig ist“ wurde gerade Descartes zitiert.

Die „mathematische Methode“ ist nun – im vollen Gegensatz zur *Anwendung* der Mathematik, bei welcher die Inhalte der Begriffe unverändert bleiben – keine formale Technik, die unberührt von den Inhalten ausgeführt werden kann. Sie gibt vor, wie *Inhalte* miteinander in Beziehung zu setzen sind.

Ziegler wendet die mathematische Methode auf das Denken an [ZIEGLER 2000]. Anhand von Beispielen aus der Mathematik zeigt er die in Abschnitt 3.7 dargestellte Fehlerfreiheit des sinnlichkeitsfreien Denkens aus dieser Perspektive. Dann führt er aus, dass anhand der Fehlerfreiheit des mathematischen Denkens ersichtlich würde, dass die korrekt erarbeiteten Begriffe, Ideen, Gesetze keine Produkte der Denktätigkeit sind, obwohl sie durch die Eigentätigkeit des Denkens *hervorgebracht* werden: Das Prinzip der geraden und ungeraden Zahlen, die Gesetze der rationalen Zahlen etc. seien keine individuellen Erfindungen, sondern der Denkerfahrung unmittelbar zugängliche⁴⁷ Gegebenheiten. Die begrifflich bestimmten Bewusstseinsinhalte werden zwar durch meine Aktivität (denken) ins Bewusstsein gehoben, unterliegen jedoch in keiner Weise meiner Willkür, da sie allein in durch sie selbst bestimmten Beziehungen stehen. Sofern man akzeptiert, dass die Regelmäßigkeit eines Kristalls zu dem Kristall dazugehört (ganz analog zu anderen Eigenschaften), sind diese Regeln nicht rein willkürlich zustande gekommen, um das auf mich einströmende Empfindungsmaterial zu ordnen. Sie erscheinen in meinem Bewusstsein, wie nicht gedankliche Empfindungen auch. Dies gilt nun nicht nur für die Naturgesetze, sondern für das Begriffssystem überhaupt: Obwohl ich es bin, der die Erfahrungswelt durch Begriffe gliedert, das ungeteilte Ganze in Teilen analysiert, ist die Bildung der Begriffe (Teile und ihre Beziehungen) nicht willkürlich, sondern an der Erfahrungswelt ausgerichtet. Die Gliederung ist in der Erfahrungswelt veranlagt und wird mir durch meine Zuwendung bewusst. Ob ich den Begriff des Dreiecks denke, ist meine subjektive Entscheidung, nicht jedoch der gedankliche Inhalt des Begriffes. Das sich selbst organisierende Zusammenspiel von subjektiver Aktivität (denken) und objektiven⁴⁸ Inhalten, das ist es, was als Erkennen bezeichnet werden kann. Wahrnehmen ist nicht das Erleben einer Mannigfaltigkeit von Impressionen, sondern die Erfahrung des Entspringens eines immanenten gedanklichen Zusammenhanges aus einer Konstellation von Gegebenheiten. Das Mathematische daran ist, die „Konstellation der Gegebenheiten“ streng abzugrenzen auf den Untersuchungsgegenstand.

Erinnern wir uns jetzt an Umkehrbilder, eines ist in Abbildung 10, Seite 20, zu sehen, als Beispiele begrifflicher Interpretationen, so müssen wir bemerken, dass die Interpretationen als Vase oder Gesicht nicht nach der mathematischen Methode erfolgte: Die Begriffsinhalte Vase und Gesich-

⁴⁷ Die Gesetze der Mathematik sind „unmittelbar zugänglich“, nämlich durch Wahrnehmung gedanklicher Inhalte. Ziegler weist auf eine interessante Gemeinsamkeit zwischen gedanklichen Intuitionen und nicht gedanklichen Empfindungen hin: Beide, etwa der Inhalt des Begriffes Dreieck und die Empfindung der Farbe Rot, widersetzten sich subjektiven Manipulationsversuchen [ZIEGLER 2000].

⁴⁸ Dem Schluss dieser Argumentation, dass die gebildeten Gedanken ihrem Inhalt nach vom *Objekt* bestimmt und somit als „objektiv“ bezeichnet werden dürfen, folgt nicht jedermann. Eine prägnante Auseinandersetzung mit häufig vorgebrachten Gegenargumenten sowie Hinweise auf weiterführende Literatur findet sich in [ZIEGLER 1996].

ter ergaben sich nicht aus der Vorlage, sondern aus der Analogie zu anderen Erfahrungen. Dies ist mit der Strenge mathematischer Folgerungen nicht vereinbar. Wer noch nie Gesichter oder Vasen gesehen hätte, könnte das Umkehrbild „Rubin’sche Vase“ nicht in dieser Weise interpretieren. Die Umkehrbilder sind daher eher Beispiele für das Herantragen sachfremder gedanklicher Deutungen (modellgeleitete Interpretationen) als für erfahrungsbasierte Untersuchungen.

Gelingt es, auch andere Ideengehalte in derselben Art wie mathematische Ideen zu denken, so löst man sich von diesem speziellen Bereich der Ideenwelt, verlässt aber nicht das Prinzip des reinen, d. h. nicht auf Sinneswahrnehmungen bezogenen Denkens. Man hätte nur den Gegenstandsbereich erweitert, nicht jedoch die Qualität („mathematische Methode“) der tätigen Erfahrbarkeit verloren.⁴⁹ Die Anwendung der strengen mathematischen Denkweise auf die Begriffsbildung auch in nicht mathematischen Wissensbereichen könnte die eingangs begehrte Sicherheit der Erkenntnis auch jenseits der Mathematik bringen. Werden Begriffe mit mathematischer Klarheit auch in anderen Feldern der Wissenschaft ausgebildet, ist die Klarheit und Sicherheit des autonomen Einsehens ohne die Einschränkung auf das mit Maß und Zahl erfassbare Quantitative auch im Bereich der Natur erreichbar. Beispiele aus dem Bereich der dort „modellfrei“ geheißenen Optik (bspw. [SOMMER 2004] oder [MAIER 1977]) zeigen, dass die „mathematische Methode“ des sinnfälligen Aneinanderreihens, angewendet auf physikalische Tatsachen, zur Einsicht in gedankliche Zusammenhänge zwischen ihnen führt, ohne nicht beobachtbare Ursachen einführen zu müssen. Auf die Rückführung der sichtbaren optischen Erscheinungen auf selbst nicht erscheinende, sondern unabhängig von der Beobachtung in der Vorstellung zugrunde gelegte Vorgänge mit hypothetischen Strahlen, Teilchen oder Wellen wird bei diesem Vorgehen verzichtet. Die Bedingungen der Erscheinungen werden definiert über Wege ihrer Hervorrufung. Die Aussagen einer solchen Vorgehensweise haben deshalb die Form operationell-empirischer Axiome.

4.4 Grade der Objektivität

Zunächst ist eine wiederholende grundsätzliche Bemerkung zum Erkenntniswert der Sinnesempfindung geboten. Mehrfach wurde bereits hervorgehoben, wie sehr das, was wir erkennen, abhängig ist von dem Begriff, den wir an die Sinnesempfindung herantragen: Vase oder Gesichter? Daneben kann jedoch eine Sinnesempfindung bemerkt werden, die keiner variablen Deutung, damit auch keiner Täuschung unterworfen ist: das unmittelbar Empfundene oder Erlebte. „Empfindungen von Ton, Farbe, Bewegung, Gleichgewicht, Geruch, Schmerz und Wohlbefinden stehen als Erlebnisqualitäten unabhängig von aller weiteren begrifflichen Bestimmung oder Beurteilung fest.“ [SCHEURLE 1984, S. 53] Da diese unmittelbar empfundenen Sinnesqualitäten vor jeder Interpretation erlebt werden, stehen sie prinzipiell jenseits von Irrtum und Wahrheit. Scheurle zeigt unter Verweis auf andere Autoren, dass die unmittelbar erlebte Empfindung exakt bestimmbar ist und eine absolute qualitative Determiniertheit besitzt:

„Wie jeder Farbtüchtige Rot als Rot und nicht etwa als Grün oder Blau erlebt, so empfindet auch jeder Mensch Schmerz eindeutig als Schmerz und nicht etwa als Wärme oder Kälte, als Druck oder Härte. [...] Diese Empfindungen sind spezifisch determinierte Erfahrungsinhalte, die absolute Qualitäten darstellen [...] Die Eigenschaften der äußeren Dinge sind identisch mit spezifischen Wahrnehmungsqualitäten.“ [SCHEURLE 1984, S. 59 f.]

Für das Erkennen sind daher Sinnesempfindungen von ihren Interpretationen zu unterscheiden. Die Sinnesempfindungen besitzen absolute Gültigkeit; wenn eine bestimmte Erfahrung gemacht wird, ist dies nicht diskutierbar. Sie haben den gleichen Grad an Realität wie der Ausschlag eines Messinstrumentes. Messinstrument und unmittelbare Empfindung sind gleichermaßen Ausdruck einer Beziehung. Beide geben Auskunft über eine Eigenschaft des Beobachteten, vor jeder Interpretation und Wertung. Scheurle schreibt: „Ein Erkennen von Dingen und Phänomenen durch

⁴⁹ Damit wird nicht gegen verschiedene Strategien des mathematischen Suchens und Entdeckens wie Assoziationen, Vermutungen, entspanntes Bewusstsein, Analogieschlüsse etc. gesprochen.

die mannigfaltigen Sinne ist möglich, auch ohne daß darüber erst nachgedacht werden müßte.“ [SCHEURLE S. 46] Auch kann auf [ZAJONC 1980] verwiesen werden, der ebenfalls die Unabhängigkeit sinnlicher Empfindungen und Wertungen von kognitiver Interpretation dargestellt hat. Seine Folgerung der Existenz unabhängiger mentaler und kognitiver Systeme ist später wiederholt aufgegriffen (z. B. von [LOTHIAN 1999]) oder unabhängig postuliert worden [GOLEMAN 1995].

Wahrnehmungen sind ohne Denken, also ohne begriffliche Interpretation möglich:

„Jedes interaktive Erlebnis und jedes Erlebnis überhaupt, indem es vollzogen wird, kann zum Gegenstand eines reinen Schauens und Fassens gemacht werden, und in diesem Schauen ist es absolute Gegebenheit. Es ist gegeben als ein Seiendes, als ein Dies-da, dessen Sein zu bezweifeln gar keinen Sinn gibt. Ich kann zwar überlegen, was das für ein Sein ist, aber diese Wahrnehmung ist und bleibt solange sie dauert ein Absolutes. Und das gilt für alle spezifischen Denkgestaltungen.“ [HUSSERL 1907, III, S. 31]

Die ursprüngliche Sinnesempfindung trägt etwas direkt Gegebenes, etwas nicht weiter Herleitbares zur Erkenntnis bei. Will man nicht auf der Ebene affektiver Beurteilungen stehen bleiben, beeinflussen sich Affekte⁵⁰ und kognitives Denken in einer Vielzahl von Weisen gegenseitig. Eine vollständige Trennung zwischen äußerer Wahrnehmung und gedanklicher Interpretation ist nicht mehr möglich. Um etwas zu sehen, muss ich es unterscheiden von anderem. Die Kriterien für die Unterscheidung liegen in mir, nicht im Gegenüber, ja selbst die Feststellung, dass das Gegenüber eben gegenüber ist – und nicht Teil von mir – bedarf meines aktiven Zutuns. Neben dieser Gegenüberstellung bedarf es weiterer Abgrenzungen: Was soll zum Objekt gehören, die Unterscheidung Vordergrund – Hintergrund, die Gegenstandsbildung, die Bildung von Funktionseinheiten usw.? „Um einen Fakt als solchen zu erkennen, muss ich ihn von seiner Umgebung trennen. Die notwendigen Unterscheidungsmerkmale kommen nicht aus dem Gegenstand, sondern von mir“, heißt es bei [ROZAK 1994, S. 105]. Stets wird beim Vergleich etwas miteinander verglichen, was in bestimmter Hinsicht vergleichbar ist, in anderer nicht. Wegen der die Beobachtung leitenden Funktion des Denkens gibt es keine absolute Trennung zwischen Subjekt und Objekt: Alles, was wir erfahren, wahrnehmend oder messend, ist Ausdruck der Beziehung zwischen Beobachter und Beobachtetem, wie Abschnitt 3.9 dargelegt. Eine vom Beobachter unbeeinflusste Beobachtung ist auch dann nicht möglich, wenn der Beobachter nach dem Entwurf und der Installation der Messgeräte das Feld verlässt, denn er ist es, der entscheidet, was und wie gemessen und interpretiert wird, welches Bild der Wirklichkeit, instrumentell vermittelt oder unmittelbar, erzeugt wird. Einer der wesentlichen Schlüsse, die sich nicht nur aus der Physik des 20. Jahrhunderts ergeben, ist der Verzicht auf den nicht haltbaren Anspruch der Objektivität des Wissens. [WALLNER 1990]

Nun ist die Erfahrung – beispielsweise des visuellen – Anschauens von der Beleuchtung, dem Betrachtungsabstand und von der Persönlichkeit des Betrachters, ja sogar von dessen momentaner Verfassung abhängig. Können unter diesen Umständen aus den vor Augen stehenden Bildern überhaupt objektive Informationen gewonnen werden? Zunächst kann darauf geantwortet werden, dass jeder Betrachter eines Bildes *ganz konkrete*, nicht irgendwelche, Erfahrungen macht. Bei aller Verschiedenheit gibt es ein auf das Bild zurückführbares Gemeinsames, Objektives. Die intersubjektiv erfahrene Sinnesempfindung ist etwas, das mit dem Objekt zu tun hat. Das vom Bild bestimmte, das Objektive wird je deutlicher in der subjektiven Anschauungstätigkeit offenbar, je mehr es gelingt, Emotionen, Befindlichkeiten, Sympathie und Antipathie, Erwartungen, Gewohnheiten, Interpretationen fernzuhalten.

Die Teilung zwischen Objekt und Subjekt ist indes nicht objektiv, sie ist vom Subjekt getroffen. Und die begriffliche Interpretation der Sinnesempfindung ist ebenfalls nicht als Objekt zu bezeichnen, denn der Beobachter bestimmt, was ein Fakt ist. Da ich es bin, der sich die gedankliche

⁵⁰ Affektive Reaktionen auf Reize sind oft die allererste Reaktion des Organismus. Affektive Reaktionen können ohne extensive emotionale und denkende (kognitive) Entschlüsselung erscheinen. Sie werden mit größerer Sicherheit als kognitive Beurteilungen getroffen und können schneller getroffen werden. [ZAJONC 1980]

Bestimmung bewusst macht und die Erfahrungen gemäß ihren Inhalten ordnet, ist es sinnvoller, von Beziehungen zwischen Ich und Sinneswirklichkeit zu sprechen als von Beziehungen zwischen körperlich vorgestelltem Subjekt und Objekt. Um zwischen Subjekt und Objekt unterscheiden zu können, muss die Beurteilungsinstanz, (das) Ich, über beidem stehen. Das Ich-Bewusstsein selbst kann nicht subjektiv sein, sondern unterscheidet subjektives Selbst und objektive Umwelt als übergeordnete Mitte: Ich bin es, der Wahrnehmungsinhalte zusammenfasst und als Objekt interpretiert. (Vgl. [SCHEURLE 1984, S. 29]) Die Unterteilung der Erlebniswelt in Objekt und Subjekt ist von des Denkens Gnaden, denn sie ist eine Folge menschlicher Interpretation. Die Vorstellung „subjektunabhängiger Objekte“ gerät damit zum Trugbild, denn ohne Subjekt, welches Objekte definiert, gibt es keine Objekte. (Übrigens, mit dem Paradigma der Selbstorganisation, wenn also Wahrnehmung als ein sich selbst organisierendes Ganzes aller Wahrnehmungsbereiche angesehen wird, ist eine Trennung von Objekt und Subjekt auch nicht aufrechtzuerhalten.)

Auch wenn der Mensch bestimmte Empfindungen auswählt und unter dem Begriff – beispielsweise des Apfels – zusammenfasst, fällt das, was subjektiv mit Apfel benannt werden würde, ohne menschliches Zutun vom Baum. Die helle Fläche in der Mitte von Abbildung 10 auf Seite 20 ist zu unterscheiden von dem dunkleren Umfeld, das sie umgibt. Beide Flächen sind auch ohne mich, ohne meine Interpretation da. Allerdings heißen sie dann nicht Flächen, niemand bestimmt ihre Begrenzung und niemand unterscheidet die eine von der anderen, trotzdem sind sie da. Ein höherer Anteil an Interpretation liegt vor, das bezeichnete Bild als Vase (oder Gesichter) zu deuten. „Helle“, aber auch „Fläche“ liegen dichter beim Objekt und ferner vom Subjekt, während der Zuordnung „Vase“ eine viel stärkere Interpretation durch das Subjekt vorangeht. Das ohne ihn Stattfindende könnte „objektiv“ genannt werden. Der Beobachter greift aus der – auch ohne sein Zutun vorhandenen – Ereigniswelt Teile heraus. Jegliche begriffliche Einschränkung ist bereits subjektive Deutung. Damit ist zwar keine binäre Einteilung in absolut objektiv und (rein) subjektiv sinnvoll, aber eine Graduierung nach zunehmendem Einfluss der Interpretation kann vorgenommen werden. Als relativ „objektiv“ sind nicht gedanklich interpretierte Sinnesempfindungen wie Wärme Glätte, Farbe usw. zu charakterisieren. Das Wort „subjektiv“ verweist demgegenüber auf die subjektiv vorhandene Wahlfreiheit gedanklicher Bestimmungen.

Im Sinne dieser Abstufung kann man sich bemühen, Phänomen und Interpretation zu trennen: Zunächst kann versucht werden, das Denken zugunsten der sinnlichen Wahrnehmung während der Beobachtung zurückzudrängen. Man kann sich an das Unmittelbare der Sinneswahrnehmung halten, an die Erfahrung der Wirklichkeit. Weiterhin sind die in der Bedenkphase erzeugten Erklärungsmuster unter Vorbehalt zu stellen, zu bezweifeln, zu variieren, alternative in Betracht zu ziehen. Beispielsweise können dem Erklärungsmuster der *causa efficiens*, d. h. der Erklärung von Beobachtungen durch in der Vergangenheit liegende Ursachen, finalistische Kausalbeziehungen, die gegenwärtiges Geschehen als mögliche Folge eines in der Zukunft liegenden Zweckes interpretieren, als gleichberechtigte Alternativen entgegengestellt werden [FOERSTER 1990; WITTGENSTEIN 1921].

Kurz: Alle Erkenntnisse, die wir uns von der Welt um uns angeeignet haben, beruhen auf Erfahrungen, denn nur von ihnen können wir wissen. Die größtmögliche objektseitige Determiniertheit ergibt sich also für die Sinnesempfindungen. Mit der begrifflichen Deutung der Sinnesempfindungen, dem anderen Pol einer Objekt-Subjekt-Skala, gewinnt man die Freiheit, zwischen verschiedenen Interpretationen wählen zu können.

4.5 Das Ganze und das Phantom der Teile

Nach dem bisherigen liegt es nahe, die Existenz isolierter Teile allein dem menschlichen Wahrnehmungsvermögen zuzuordnen und jenseits der menschlichen Betrachtung alles als ein einziges, wenn auch differenziertes Ganzes anzusehen. Zumindest ist die Annahme der Zerlegung in isolierte Teile als durch das menschliche Wahrnehmen und Denken bedingt denkmöglich: Eine urteilsfreie Betrachtung kann nicht ausschließen, dass jenseits menschlicher Differenzierung Alles

nur Eines ist. Trotzdem kann der hier vorgestellte Gedanke schwierig zu akzeptieren sein. Mit den Worten Weizsäcker: „Wir halten die Einführung eines solchen übersummativen Momentes in irgendwie analytische Forschung nicht für möglich und letzten Endes für eine Variante des Vitalismus.“ [WEIZSÄCKER 1940, S. 10] Ob die von mir entwickelte Auffassung als Variante der in der Wissenschaft der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts verpönten Vitalismustheorien zu gelten hat, soll hier nicht verfolgt werden, der Nichtintegrierbarkeit in analytische Forschung ist jedoch zuzustimmen: Mit dem Erwachen menschlichen Erkenntnisstrebens zerfällt das Sein in nacheinander beobachtete Teile.

Da die analytische Methode alternativlos ist, heißt Begriffsbildung in Bezug auf Selbstorganisationsprozesse Erkennen von Zusammenhängen, unter welchen Bedingungen selbstorganisierende Strukturen entstehen. Eine Analyse des Phänomens in Teile, aus denen Eigenschaften auf wundersame Weise emergieren, ist demnach als fruchtlos anzusehen. Die Erforschung von Selbstorganisationsphänomenen unterscheidet sich damit – abgesehen von der Dynamik – nicht prinzipiell von der Erforschung anderer Qualitäten, die ja ebenfalls unteilbar sind (siehe oben).

Das Phänomen der Emergenz selbstorganisierender Eigenschaften thematisiert den wundersamen Übergang von den Teilen zu einem Ganzen, das größer als die Summe der Teile ist. Emergenz existiert nur in einer Sichtweise, die aus der ganzheitlichen Wirklichkeit Teile abstrahiert und diese fiktiven Teile zu einem Ganzen zusammensetzen will. Dies Ganze entspricht seinen Eigenschaften und seinem Verhalten der Beobachtung der unzerlegten Ganzheit. Nur durch die Gliederung des Ganzen in Teile im Prozess der Analyse entsteht das Phänomen der Emergenz von Eigenschaften, die an den Teilen nicht beobachtet werden können, so genannten „emergenten“ oder „systemischen“ Eigenschaften⁵¹. Weil die Wahrnehmung die Wirklichkeit in Teilaspekte zerlegt, entsteht die Frage nach der Zusammensetzung der Teile. Eine Naturerkundung, die ohne Zerlegung in Teile auskäme, hätte das Problem emergenter Eigenschaften nicht: Wenn Müller schreibt, dass „Emergenz so lange nicht vorhersehbar ist, wie die interagierenden Prozesse nicht verstanden sind“ [MÜLLER 1997b], heißt das eigentlich, dass Emergenz so lange nicht vorhersehbar ist, wie die systemischen Eigenschaften nicht so in Elemente und Beziehungen zerlegt werden, dass sie wieder zusammengesetzt werden könnten. Das Zerlegen der Wirklichkeit in Teile ist zwar – bedingt durch die Sinnesorganisation – unvermeidlich, aber das Bild einer in Teile zerlegten Wirklichkeit ist eine Modellvorstellung, die bezogen auf die Zerlegtheit in Teile nicht dem Original entspricht.

„Die Spannung zwischen Teil und Ganzem beschäftigte die Menschheit seit jeher, [...] gewissermaßen zeitlos, und doch ist sie durch neue Entwicklungen in den Wissenschaften besonders aktuell geworden.“ [KRATKY & BONET 1989] Mit der Erkenntnis, dass die Realität ein einziges Ganzes ist und Teile nur für den Beobachter existieren, ist diese alte Frage geklärt. So kann die für jeden rational Denkenden provokatorische Übersummativität, dass „das Ganze mehr sei als die Summe seiner Teile“ angemessen beantwortet und der damit verbundene Streit zwischen reduktionistischem und holistischem Wissenschaftszugang konstruktiv aufgelöst werden.

⁵¹ Zum Unterschied zwischen systemisch und systematisch: „Die systemische Sichtweise ist für alle Arten von Vernetzung offen, während eine Systematik gerade im Erstellen einer hierarchischen Ordnung besteht (vgl. die Systematik des Pflanzenreiches). Systemisches Denken mag vielen also durchaus unsystematisch erscheinen.“ [KRATKY 1991, S. 12]

5 Ästhetische Beobachtung und Mimese

Genau Beobachtung hat am Anfang einer erkundenden, begriffsbildenden Wissenschaft zu stehen. Eine intensive, ausgiebige Wahrnehmung hat in mehrfacher Hinsicht fruchtbare Auswirkungen auf die Begriffsbildung. Einerseits wird der gedankliche Einfall, die Intuition, näher an der Realität liegen, wenn zahlreiche und präzise Erfahrungen vorliegen, die mit der Intuition und durch sie zu einem Ganzen verbunden werden. Je genauer die Wahrnehmung, umso eher prägt sie sich dem Gedächtnis ein und umso exakter ist sie erinnerbar. Die Präzision der Erinnerung ist also abhängig von der Präzision der Wahrnehmung und diese wiederum von der Aufmerksamkeit, dem Interesse und der emotionalen Beteiligung. Je reichhaltiger und genauer die Wahrnehmung war, desto intensiver beeinflusst sie das Denken und umso besser setzt sich die aktuelle Erfahrung über das Vorgewusste hinweg. Eine oberflächlich-wiedererkennende Wahrnehmung trägt nur wenig zur Bildung eines *neuen* Begriffes bei. Je mehr es gelingt, Erinnerungen aus der Vergangenheit bei der aktuellen Wahrnehmung fernzuhalten und gewohnte Abläufe bewusst zu verändern, umso höher ist die Chance für neue Erfahrungen, nicht gedankliche wie gedankliche.

Im nächsten Abschnitt wird sichtbar, dass die genaue Beobachtung, gemeinhin Grundlage künstlerischer Tätigkeit, auch als Wissenschaftsmethode kultiviert worden ist. Präzise Beobachtungen verbinden Wissenschaft und Kunst, der angemessene Ausdruck dafür ist „Ästhetik“, er verbindet beide, meist nebeneinander stehenden Bereiche kreativen Menschseins.

5.1 Ästhetische Betrachtung

Nehmen wir an, eine landesweite Waldschadenskartierung sei durch visuelle Interpretation vorzunehmen. Der Forstexperte für die Interpretation von Fernerkundungsdaten hätte die Aufgabe, die abgebildeten Waldgebiete nach den verschiedenen Schadensanzeichen zu untersuchen. Dazu wird er in den Visualisierungen der Fernerkundungsdaten die Waldgebiete genau ansehen und nicht nur auf farbliche oder textuelle Bildmerkmale achten. Er wird die Bilder in einer begrifflich bereits bestimmten Absicht, nämlich auf das Finden möglicher Schadensspuren hin, durchmustern. Auch wenn sein Sehen teils nacheinander, teils gleichzeitig Vieles in den Blick nimmt, bleibt es auf die Zuordnung *bestimmter* Begriffe gerichtet. Der Interpret lauert auf die Gelegenheit, einer Erscheinung im Bild den Begriff einer bestimmten Schadensart zuzuweisen. Damit betont er in der Wahrnehmung den Aspekt des Erkennens.

Aber wir sind auch fähig, uns der Sinneswelt ohne Fixierung auf eine vorgegebene Erwartung, sondern mit Aufmerksamkeit für das Geschehen des Erscheinens zuzuwenden. Dabei ist die Aufmerksamkeit absichtlich auf die Wahrnehmung der Simultaneität der phänomenalen Zustände gerichtet. „Wir nehmen wahr, und wir spüren unser Wahrnehmen, und wir richten die Aufmerksamkeit auf Bezüge, die der Wahrnehmung ansonsten entgehen.“ [SEEL 2003, S. 97] Und kurz darauf heißt es: „Ästhetische Wahrnehmung ist Aufmerksamkeit für das Geschehen ihrer Objekte.“ Damit beschreibt Seel – unter explizitem Ausschluss gedanklicher Wahrnehmungen – gerade das, was in Abschnitt 3.3, Seite 35 f., als „Sinnes-Empfinden“ charakterisiert wurde: Wir achten beim Sinnes-Empfinden auf das augenblicklich in der Perspektive des Beobachters Erscheinende. Und seine an anderen Stellen dieser Schrift vorgenommene Gegenüberstellung der ästhetischen zur feststellenden, „nichtästhetischen Wahrnehmung“ [SEEL 2003, S. 96] entspricht – zumindest partiell – der oben durchgeführten Differenzierung von Sinnes-Empfinden und Sinnes-Erkennen. Diese Art der Aufmerksamkeit, „ästhetische Betrachtung“ bei Seel und „Sinnes-Empfinden“ bei Scheurle geheißen, richtet sich nicht auf die begriffliche Fixierung einer Erscheinung, sondern sie überlässt sich der Vielgestaltigkeit dessen, was in ihrem Verlauf sichtbar, hörbar und sonst wie sinnlich vernehmbar wird. „Sie zielt nicht auf Distinktionen, sie verfolgt ein

bewegtes Ineinander von Aspekten auch da, wo es sich um einen ruhenden Gegenstand handelt. Sie verweilt bei einem Prozess des Erscheinens.“ [SEEL 2003, S. 58]⁵² Die ästhetische Wahrnehmung ist typisch in der Kunstbetrachtung oder für die entspannte, ergebnisoffene Wahrnehmung, wie wir sie von einem Spaziergang kennen: „Ich ging im Walde/so für mich hin,/Und nichts zu suchen,/Das war mein Sinn.“ heißt es bei Goethe⁵³.

Die Beobachtung führt vom unerkannten Anschaulichen zum Erkannten, zum Begriff: Das Anschauen folgt dem Angebot an bildlicher Erfahrung, den Farben und Formen. Es ergreift ein zunächst Unerkanntes, folgt suchend den sich im Prozess zeigenden Strukturen, bis deren gemeinsamer Bezug einer bereits gekannten, vorgeprägten Bezugseinheit (Begriff) mehr oder weniger entspricht. Die Sinneswahrnehmung wird als identifizierbare Einheit erkannt. Beim *Wiedererkennen* wird die aktuelle Wahrnehmung als Realisierung eines vorhandenen Begriffes erlebt. Mit dem gefassten Begriff hat der Anschauungsvorgang sein Ziel erreicht, er findet mit dem Wahrnehmungsurteil seinen Abschluss in einer Fest-Stellung des Anschauungsprozesses. Die erreichte Synthese von Sinnes-Empfinden und Begriff fixiert den Prozess des Wahrnehmungsgeschehens. Mit der begrifflichen Feststellung, dem Wahrnehmungsurteil, wird das zunächst Unbekannte in die Verständnisstruktur des Beobachters eingefügt⁵⁴. Beim erkenntnisorientierten Sehen ist die Suche des geeigneten Begriffes – Mit welchem Begriff kann ich die aktuelle Wahrnehmung zu einer Einheit zusammenbringen und in meine bisherigen Erfahrungen einfügen? – Mittel zum Zweck; das Sinnes-Empfinden ist dabei Durchgang zum Erreichen eines Wahrnehmungsurteils.

Anders die *ästhetische Betrachtung*. Sie erfüllt sich in der Prozessualität, ihr Gegenstand ist das Spiel der Wahrnehmungen. Jeder Sinn erschließt sich in differenzierten Erfahrungen, das Auge sieht verschiedene Farben, das Ohr unterscheidet Klänge, Töne, Geräusche usw. Die Menge der wahrgenommenen Qualitäten zeigt sich in einem sinnlichen, kaum zu beschreibenden, eher zu umschreibenden Eindruck. Er bleibt oft unbewusst, obwohl wir uns sehr stark nach diesem Eindruck richten. Besinnt man sich im Nachhinein einer aufmerksamen Beobachtung auf den Gesamteindruck, kann man ihn oft auf einzelne Aspekte hin abtasten, die auch Anlass zu Urteilen geben, oder bestimmte Gedanken herausfordern. Der Gesamteindruck selbst ist jedoch weder Urteil noch Gedanke. Dieser Bereich der noch nicht beurteilten Wahrnehmung ist Gegenstand der Ästhetik. Als „Lehre vom sinnlich Erscheinenden“ [LÜTHE 1996] hat sie die sinnliche Erfahrung zum Gegenstand, ohne Wert auf die begriffliche Fixierung zu legen.

„Die Ästhetik behandelt die sinnlichen Erkenntnisse, die nicht von der Logik festgelegt werden können, weil sie nicht in logischen Denkopoperationen aufgehen“, heißt es bei [DELFT ET AL. 1988]. Der Gesamteindruck lässt sich nicht als eine Summe sinnlicher Einzelerfahrungen erklären, auch das Wahrnehmungsurteil lässt sich nicht aus anderen Sinnesempfindungen kausal ableiten, es handelt sich jeweils um qualitativ Unterschiedliches, das nicht auseinander abgeleitet werden kann, sondern – mit dem Vokabular der Ökosystemtheorie – aus dem Zusammenspiel emergiert, wie bereits dargelegt wurde. Gesamteindruck und die durch den Gesamteindruck strukturierten Wahrnehmungen der Einzelsinne sind in der Vorstellungswelt der Selbstorganisationsprozesse autonom sich selbst organisierende Strukturen. Farben, Formen, Klänge, Gerüche ..., aber auch Begriffe sind veränderlich, solange die Wahrnehmung andauert, ähnlich der sich selbst organisierenden Struktur des Dampfes über der Kaffeetasse und ähnlich wie es in Abschnitt 3.3 aus [BOCKEMÜHL 1995] für das Erscheinen der Farbe Rot in Saros Gemälde zitiert wurde.

⁵² In Bezug auf Landschaft und Landschaftswahrnehmung wird das Sinnesempfinden aktuell in Zusammenhang mit dem Begriff „Atmosphäre“ thematisiert, beispielsweise von G. Böhme in [BÖHME 1995, 1997, 1997a].

⁵³ Trunz, E. 1998 Johann Wolfgang von Goethe. Werke. München: Dt. Taschenbuch-Verl., Hamburger Ausgabe in 14 Bänden. (Band 1). S. 254.

⁵⁴ Vergleiche Abschnitt 4.

Eine Zusammengehörigkeit verschiedener Teile zu einem Ganzen kann sich in der Stimmigkeit verschiedener Gestaltmerkmale zueinander ausdrücken und durch ästhetische Betrachtung sinnlich erfahren werden. J. Bockemühl zeigt an mehreren Beispielen die Korrespondenz der Wuchsform einer Pflanze und des Charakters ihres Standortes. In der Gestalt der Pflanze drückten sich inhärente Zusammenhänge aus [BOCKEMÜHL 1992]. Sie werden in der ästhetischen Betrachtung ahnbar. Richte ich nicht die begriffliche Bestimmung auf diese Empfindung, sondern achte ich auf die Prozessualität der Sinnesempfindungen, kann eine stimmungsmäßige Einheit sehr klar und deutlich erlebt werden. Beispiele dafür sind Abbildung 25 und Abbildung 26 oder die Empfindung, ob verschiedene Kleidungsstücke, die Persönlichkeit zu den Kleidungsstücken, Architektur und Landschaft oder sonstige Gestaltungen zueinander passen. In diesem Zusammenhang gehört auch ein Verweis auf die Fähigkeit, einen unbeblätterten Ast so orientieren zu können, wie er in einem unbekanntem Baum gewachsen war oder die Fähigkeit, die Form eines abgebissenen Blattes so zu vervollständigen, wie es gewachsen war. [BOCKEMÜHL, J. 2000]. Der gut Beobachtende ist also in der Lage, eine Stimmigkeit zwischen einzelnen Empfindungen zu erleben: Hörend und schmeckend können Disharmonien erkannt werden, sehend der Einklang von Farbe und Form. Bemerkenswert ist die Vergleichbarkeit von ganz Unterschiedlichem: Farbe und Form, Farbe und Persönlichkeit, Bewegung und Kleidung. Während im quantitativen Zugang eine Vergleichbarkeit hergestellt werden muss, können ästhetisch verschiedene Qualitäten empfindend in Beziehung gebracht werden. Die Beispiele machen deutlich, dass ästhetisch empfindbare Zusammenhänge „nicht dinglich, sondern bildlich, atmosphärisch“ sind [FALTER 2000, in Bezug auf Landschaft] und ihre Beurteilung von außen häufig Schwierigkeiten bereitet.



Abbildung 25 Etruskerpferd: Die Betrachtung dieses Bildes lässt die Geschlossenheit der abgebildeten Figur wahrnehmbar werden. (Quelle: „Museion 2000“, Zürich: ABZ Verlag 1994)

Oltmann stellt fest, dass das deutliche Wahrnehmen einer Einheit verschiedener Dinge in den letzten Jahren des Öfteren thematisiert wurde, beispielsweise bei [LERSCH 1962] als „Anmutungs-erlebnis“, bei [BÖHME 1998] als „Atmosphäre“, bei [COETZE 2000] als das bei der Wahrnehmung sich zur Geltung bringende Archetypische. [OLTMANN 2004] Dabei vereine die sinnvolle Betrachtung beide Seiten dessen, was das Wort „Sinn“ bedeutet:

„Einmal bezeichnet es die Organe der unmittelbaren Auffassung, das andere mal aber heißen wir Sinn: die Bedeutung, den Gedanken, das allgemeine der Sache. Und so bezieht sich der Sinn einerseits auf das unmittelbar Äußerliche der Existenz, andererseits auf das innere Wesen derselben. Eine sinnvolle Betrachtung nun scheidet die beiden Seiten nicht etwa, sondern in der einen Richtung enthält sie auch die entgegengesetzte und faßt im sinnlichen, unmittelbaren Anschauen zugleich das Wesen und den Begriff auf. Da sie aber eben diese Bestimmungen in noch ungetrennter Einheit in sich trägt, so bringt sie den Begriff nicht als solchen ins Bewußtsein, sondern bleibt bei der Ahnung desselben stehen.“ [HEGEL 1835]



Abbildung 26 Architektur mit gestörter Gesamtgestaltung. Bei der Betrachtung kann man bemerken, dass die Türme im Vergleich zu dem gewaltigen Dach viel zu niedrig ausgeführt wurden. (Kirche St. Johannes in Schönebeck-Salzellen)

Die Schwierigkeit im Erfassen der ästhetisch erfahrbaren Ganzheit besteht darin, dass das Charakteristische des Erscheinungszusammenhanges im Überblick zwar sehr wohl wahrgenommen werden kann, der innere Zusammenhang beim verfeinernden Blick auf die Einzelheiten jedoch schnell verloren geht. In den zahlreichen Details, welche in naturwissenschaftlichen Untersuchungen oder im Rahmen der Landschaftsplanung oder der Analyse der Naturraumpotentiale erhoben werden, kommt die Ganzheit nicht zum Vorschein. Ein Grund dieses Defizites liegt bereits in der Neigung zur Vergegenständlichung der Sinneserlebnisse. Die damit verbundene Sichtweise isolierter, räumlich abgeschlossener Körper verdrängt die Zusammenhänge zwischen den Phänomenen: Weder die Gestalt eines Steines noch einer Pflanze ist ohne Bezug zur räumlichen und zeitlichen Umgebung verständlich; sie entwickeln und verwandeln sich beständig in Abhängigkeit von den Umgebungsbedingungen. Gelingt es jedoch, die Einzelheiten in ihren wechselseitigen Zusammenhängen und zum Gesamteindruck zu beobachten, kann der Zusammenhang erfahren werden (siehe Abschnitt 6.1).

Nach [SEEL 2003, S. 92] ist der entscheidende Erkenntnisdurchbruch durch Sinnes-Empfinden nicht zu erwarten. Für ihn ist ästhetische Betrachtung eine „Quelle von Erscheinungen, die am Sinnenobjekt vernommen werden können“. Damit sei nicht gemeint, dass es um eine „überbietende Erkenntnis der augenblicklichen Verfassung des Gegenstandes“ gehe:

„Das gerade nicht. Es geht um eine Wahrnehmung der Gegenwart des Objektes, wie sie nur einem Verspüren und Vernehmen zugänglich ist, das sich nicht auf ein gedankliches Fixieren verlegt. [...] Die Erfahrung der ‚vollen‘, unreduzierten Gegenwart eines Gegenstandes ist eine Erfahrung dieses Geschehens.“ [SEEL S. 90 f.]

Die Erfahrung des Erscheinens sei das, was ästhetische Betrachtung über das Wiedererkennen bekannter Dinge hinaus leisten könne.

Die – ohne Analyse vorhandene – natürliche totale Ganzheit lässt sich nicht gedanklich bewusst ergreifen, da jede gedankliche Bestimmung einen begrenzten Inhalt hat. Der Wert der ästhetischen Betrachtung für die Naturerkundung liegt insbesondere in der sachgerechten Grenzziehung, die mit jeder begrifflichen Bestimmung verbunden ist. Für das Finden neuer Verbindungen im Verständnissystem kommt der ästhetischen Betrachtung ein hoher Stellenwert zu, denn in der Sinnesempfindung liegt die einzige originäre Erfahrungsquelle überhaupt. Werden Gedankensysteme fern von Erfahrungen (Sinnesempfindungen) entwickelt, besteht immer die Neigung, sie in sich selbst abzuschließen, zu theoretisieren. Wenn der reale Zusammenhang mit dem sinnlich wahrnehmbaren, äußeren Geschehen verloren geht, ist ein Wirklichkeitsverlust die Folge. Um in das reale Geschehen wirklich erkennend einzudringen, bedarf es der Begegnung mit der Sinneswahrnehmung und eines Denkens, das sich Zusammenhänge schaffend in die Wahrnehmung öffnet. „Was im Menschen ist, ist ideeller Schein; was in der wahrzunehmenden Welt ist, ist Sinnenchein“ [STEINER 1886, S. 137]. Das Ineinandearbeiten der beiden schafft Erkenntnis. Wollte man bei einer abbildenden Wiederholung der Sinnesempfindungen im Bewusstsein stehen bleiben, wäre Erkenntnis nichts Anderes als eine Beschreibung der Phänomene. Erst die selbst-

schöpferische Bildung begrifflicher Strukturen vermag die Einzelphänomene in gedanklichen Zusammenhängen zu verbinden. Fließen Sinnes-Empfinden und Begriffsbildung sich gegenseitig beeinflussend ineinander, kann der Anschauungsprozess zu einem intuitiven Verstehen von Wirklichkeit führen. Mit dem kultivierten Verweilen im Prozess der erfahrungsdominierten Begriffsbildung hat die ästhetische Wahrnehmung Erkenntnisfunktion (These 18). Kultiviert ist sie, sofern die Aufmerksamkeit auf das Beobachtete gerichtet ist und sachfremde Empfindungen wie gedankliche Vorurteile ausgeblendet werden. Was kann also in einer ästhetischen Betrachtung erkannt werden? „Die Dinge in ihrem Umfeld und ihrer Beziehung zum Beobachter“ ist die allgemeine Antwort darauf. Da in der ästhetischen Betrachtung Gedanken nicht die Rolle von Interpretationsvorschriften zukommt, sondern der Einordnung der Sinnesempfindungen in das Verständnis dienen, tragen die vielfältigsten Erfahrungen zu einer voraussetzungslosen und ergebnisoffenen Begriffsbildung bei.

Der Zugewinn, den ästhetische Betrachtung in Verbindung mit der Begriffsbildung leisten kann, wird in der Gegensatzung zu einer auf Nutzbarkeit oder mathematischen Modellierbarkeit gerichteten Wahrnehmung deutlicher: Letztere gehen von bestimmten Begriffen aus, beispielsweise Ursache und Wirkung als Grundlagen technischer Reproduzierbarkeit und Nützlichkeit oder die Quantifizierbarkeit als Voraussetzung mathematischer Modellierbarkeit. Die Wahrnehmung wird auf die Interpretation der Sinneserfahrungen hinsichtlich der Nützlichkeit oder Modellierbarkeit – um bei diesen Beispielen zu bleiben – eingeschränkt; bestehende Begriffe werden als Interpretationsvorschrift angewendet:

„Der Naturwissenschaftler hat gelernt, Wahrnehmungen sofort in gesonderte Vorstellungen von zu betrachtenden Gegenständen zu verwandeln, denn das Phänomen verliert als Gegenstand betrachtet, den Zusammenhang, dem es entstammt. [...] Wirklichkeit wird auf diesem Weg nur im Nebeneinander und Nacheinander des Vorausgesetzten aufgesucht.“ [BOCKEMÜHL, J. 1997]

Die entscheidende Erweiterung der Erkenntnisbildung durch ästhetische Beobachtungen ist demgegenüber die voraussetzungsfreie Bildung oder Modifizierung von Begriffen.

Ästhetische Betrachtungen haben im naturkundlichen Bereich Bedeutung, da sie Sinneswelt und Gedankenwelt aufeinander beziehen. Allerdings bringt nicht jede Erfahrung das Anschauen gleichermaßen in Bewegung. Manche Wahrnehmungsinhalte sind gut für das Wiederfinden begrifflicher Definitionen, andere eher für die vorgängige Erfahrung der Wirklichkeit geeignet. Dass auch visualisierte Geodaten ästhetisch betrachtet werden können, machen attraktive Fernerkundungsbilder⁵⁵ oder kartografische Beispiele deutlich. Überschaubarkeit und distinkt Figuriertes fördern das Finden begrifflicher Bestimmungen. Unüberschaubares, Aufgelöstes, Undifferenziertes fördert die Suche und vorgängliches Erfahren. [BOCKEMÜHL, M. 1982, S. 178]. Fehlende Überschaubarkeit erzwingt eine andauernde Betrachtung, wenn man nicht ganz auf die Erkenntnis verzichten will. Dieser Aspekt kann die Gestaltung von Datenvisualisierungen beeinflussen: Zielt die Visualisierung auf die schnelle Weitergabe prinzipiell bekannter Inhalte, ist eine zeichnerhafte Darstellung angebracht, bei der in Konventionen vereinbarte Bedeutungen schnell wiedererkennbar dargestellt werden. Sollen neue Erkenntnisse gefunden werden, kann Unübersichtlichkeit und schwache Strukturierung zum „Eingehen“ auf den Gegenstand auffordern. Die stärkere Eignung klar gegliederter oder zeichnerhafter Objekte für das Finden eines geeigneten Begriffes und das schnelle Anhalten der sinnlichen Erfahrungen schließen jedoch auch eine ästhetische Betrachtung nicht vollends aus. Wiedererkennendes und tätig-vorgängliches Anschauen haben unterschiedliche Ausrichtungen: Das Finden eines entsprechenden Begriffes, womit das Wahrgenommene erkannt wird, oder die (sinnliche) Erfahrung der Wirklichkeit. Das Abwechseln beider Wahrnehmungsausrichtungen schafft Orientierung in einem Phänomenfeld. Wenn „die Naturwissenschaft seit Newton ihre Tugend daran gesetzt hat, nicht nach dem Wesen

⁵⁵ Bemerkenswerte Beispiele von Fernerkundungsbildern mit hohem ästhetischem Genusswert sind die von B. Edmaier veröffentlichten (z. B. [EDMAIER 1999]).

zu fragen“ [BÖHME 1997a, S. 41 f.], so kann man für die kultivierte ästhetische Beobachtung der Natur sagen, dass sie nach den Erscheinungsweisen fragt. Sie gibt an, wie sich Naturdinge in ihrem Umfeld charakteristisch zeigen. Die systematische Untersuchung eines Phänomenfeldes zielt auf die Beantwortung der Frage, *was* ein (nicht technisches) Ding ist, was Wachstum ist, was Bewegung ist, was Raum und Zeit sind. Die Antwort wird durch Modifikationen und Verdichtungen des Begriffsnetzes gebildet. Der zu einem ästhetischen Erleben führende Prozess wird am stärksten gefährdet durch Interpretationen aufgrund eines Vorwissens, welches ohne realen Bezug zur aktuellen Wahrnehmung steht.

Wegen dem Beitrag der nicht gedanklichen Wahrnehmungen zur Begriffsbildung kann Ästhetik als sinnliche Erkenntnis aufgefasst werden. Ästhetik beschränkt sich darin nicht auf die Auseinandersetzung mit künstlerischen Gestaltungen. Die Befreiung des Begriffes der Ästhetik aus der Isolierung auf Kunst ist nun keine neue Erfindung, sondern die Wiederentdeckung einer langen Tradition, wie im Folgenden abstrahiert dargestellt wird.⁵⁶

Übersieht man das Feld phänomenologischer Forschung, lassen sich über die – in Bezug auf Anwendungen – absichtslose Vertiefung und Erweiterung des Bewusstseins hinaus, auch „nutzbare“ Anwendungen finden. J. Bockemühl stellt beispielsweise dar, wie eine ganzheitliche Bewertung von Landschaft auf der Grundlage ästhetischer Betrachtung und unter Bezugnahme quantitativer Größen erfolgen kann [BOCKEMÜHL 1998]. Damit gelingt es, für technisch Gebildete schwer fassbare Begriffe wie Schönheit oder Einzigartigkeit (BNatSchG § 23)⁵⁷ sachgerecht einzubeziehen. Als Beispiel aus dem Bereich der Technik sei die Entwicklung von Rührwerken und Schiffsschrauben durch Schatz angeführt. Er hat durch „formfühlendes Gewahrwerden des Hervorgehens der Gestalt“ [SCHATZ 1998, S. 17] eine naturfreundlichere Technik entworfen. Durch wassergemäße, wellige Bewegungen, einer Forelle ähnlich, konnte mit dem von ihm entwickelten Mischwerk eine Alternative zur „gewalttätigen Rotation“ [ebd. S. 124] üblicher Mischlöffel oder Schiffsschrauben entwickelt werden.⁵⁸

Die hier vorgenommene Vermischung und teilweise Gleichsetzung von Phänomenologie und Ästhetik gestattet einen Blick auf Ergebnisse phänomenologischer Untersuchungen, um zu einer Konkretisierung dessen zu kommen, was mit ästhetischer Betrachtung erreicht werden kann. Dabei stütze ich mich auf Goethes „Farbenlehre“ [GOETHE 1810]⁵⁹, Schwenks „Strömungsformen des Wassers“ [SCHWENK 1962] und Soentgens phänomenologischen Beschreibungen von Alltagsgegenständen [SOENTGEN 1997 und 1998] sowie Leutholds „Ökogenese ...“ [LEUTHOLD 1998] als repräsentative Beispiele phänomenologischer, ästhetischer Beobachtung. Versucht man die Ergebnisse dieser phänomenologisch geführten Arbeiten zusammenfassend zu charakterisieren, so bestehen sie in Beschreibungen reproduzierbarer und regelmäßig erscheinender Gestalten und Strukturen. Bei Goethe sind es regelmäßig erzeugbare Farbphänomene, bei Schwenk Formbildungen fließenden Wassers, bei Soentgen fraktale Gebilde, bei Leuthold vegetationsökologische Phänomene. Sofern sie notwendig, regelmäßig und vom Beobachter unabhängig beobachtet werden können (Goethe, Schwenk, Soentgen), können die dargestellten Zusammenhänge als Naturgesetze bezeichnet werden. Ein Unterschied gegenüber einer Naturwissenschaft, die sich

⁵⁶ Eine qualifizierte Darstellung der Geschichte der sinnlichen Erkenntnis ist bei besonderer Würdigung der direkten oder mittelbaren Beiträge von Plato, Epikur, Sextus Empiricus, Berkeley, Baumgarten, Goethe, Troxler, Hegel, Feuerbach, Croce, Marx, Nietzsche, Fiedler, Husserl, Marcuse, Sartre und Barth von Schweizer & Wildermuth als Grundlegung der phänomenologischen Methode vorgelegt [SCHWEIZER & WILDERMUTH 1981]. Dieser Abriss stützt sich darauf.

⁵⁷ Gesetzestext § 23: Naturschutzgebiete sind rechtsverbindlich festgesetzte Gebiete, in denen ein besonderer Schutz von Natur und Landschaft in ihrer Ganzheit oder in einzelnen Teilen 1. ... 3. wegen ihrer Seltenheit, besonderen Eigenart oder hervorragenden Schönheit erforderlich ist ... Quelle: <http://www.naturschutzrecht.net/Gesetze/Bund/f-bnatschg.htm>, 17.6. 2005.

⁵⁸ Dass der Wirkungsgrad, die Durchmischung, höher als bei konventionellen Systemen ist, tut hier nicht zur Sache.

⁵⁹ Eine differenzierende Darstellung, inwieweit Goethes Farbenlehre als „Phänomenologie der Natur“ anzusehen ist, findet man in [BÖHME 1997, S. 19 ff.]

auf quantitative Verhältnisse beschränkt, besteht in der Vielfalt der Beobachtungsperspektiven (Durchlicht, Auflicht, früh und abends bei Goethe; visuell, akustisch und taktil bei Soentgen; visuell, akustisch und dynamisch bei Schwenk), womit eine Reduktion auf einzigartige, sterile und insoweit wirklichkeitsfremde Laborbedingungen weitgehend vermieden wird.

In der Geschichte wurden in Bezug auf ästhetische Fragestellungen unterschiedliche Schwerpunkte gesetzt. Plato (427–347 v. Chr.) war einer der ersten Denker des Abendlandes, der über die ästhetische Problematik systematisch nachgedacht hat. Alle Erscheinungen im Reich der Sinnenwelt, die wir als schön empfinden, seien Ausdruck der einen Idee des Schönen. Diesem Schönen strebten die Menschen nach. Ohne dieses Streben nach dem Schönen ist menschliches Handeln für Plato nicht denkbar. Ethik und Ästhetik sind bei ihm auf das Engste miteinander verwoben. Der moderne Begriff der Ästhetik führt auf Alexander Gottlieb Baumgarten (1714–1765) zurück. Baumgarten veröffentlichte in den Jahren 1750/1758 unter dem Titel „Aesthetica“ grundsätzliche Überlegungen über das, was unter Ästhetik verstanden werden könne. Er ging dabei von einer so folgenreichen wie überzeugenden Unterscheidung aus: Es ließen sich zwei Arten der menschlichen Erkenntnis unterscheiden. Die eine Erkenntnisweise ist die Erkenntnis via Logik und Verstand. Sie verführe mit logischer Deduktion und arbeite mit strenger definitivischer Begrifflichkeit. Baumgarten erkennt nun, dass es neben dieser begrifflich-definitivischen Erschließung der Welt auch einen anderen Welt-Zugang gibt, den er als sinnliche Erkenntnis bezeichnet. Die Werke der Kunst und der Poetik würden die Welt auf andere Weise erkennen, und sie sprächen eine andere Sprache als die exakten Wissenschaften. Gleichwohl könne nicht bestritten werden, dass auch Kunst und Poetik ‚Welterkenntnis‘ enthielten.⁶⁰ Die Ästhetik reflektiere nach Baumgarten diese Art des Weltzuganges. Sie ist für Baumgarten die Theorie der sinnlichen Erkenntnis. Auf den Glanz ihrer universellen Begründung als Erkenntnislehre durch Baumgarten 1750 folgte wenige Jahrzehnte später eine verhängnisvolle Isolierung auf das Gebiet der Kunst und eine einseitige Subjektivierung. „Schon I. Kants ‚Kritik der Urteilskraft‘, auf die die heute geläufige Bedeutung des Ästhetischen zurückgeht, schränkt den universellen Horizont der Ästhetik, der das Werk Baumgartens kennzeichnet, bedeutend ein.“ [SCHWEIZER 1973] Ganz im Sinne Baumgartens hat Goethe seine „Farbenlehre“ entworfen. Er sammelt Beobachtungen am unverstellten Phänomen Farbe.

„Seine Auseinandersetzung mit der mechanistischen Farbenlehre und Optik Newtons ist zwar zu seinen Ungunsten entschieden worden, dennoch haben seine Argumente und sein Standpunkt in der Zwischenzeit immer größeres Verständnis, selbst bei Naturwissenschaftlern, gefunden“ [SCHWEIZER & WILDERMUTH 1981, S. 24].

Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831) greift in seinen Überlegungen zwar auf Baumgarten zurück, gibt aber der weiteren ästhetischen Diskussion eine entscheidende Wende, indem er eine neue Definition der Ästhetik vorlegt. Ästhetik ist für Hegel die Philosophie der schönen Kunst. In diesem Sinn wird auch heute der Begriff der Ästhetik in der Regel gebraucht. Rede vom Ästhetischen ist in aller Regel allem Kunst und Design bezogen.⁶¹ Die Einschränkung der Ästhetik auf Kunst und Design zieht sich auch weit durch das 20. Jahrhundert; zumindest entsteht dieser Eindruck bei zwei maßgeblichen Persönlichkeiten dieses Gebietes, dem Kunstkritiker W. Benjamin (1892–1940) und dem Philosophen und Sozialforscher Theodor W. Adorno⁶² (1903–1969). Gegen Ende des 20. Jahrhunderts brachte G. Böhme eine Erweiterung ästhetischer Wahrnehmung auf die Natur in die Diskussion [BÖHME 1982, 1992, 1995, 1997a].

⁶⁰ Vergleiche dazu [WENDERLEIN 1996].

⁶¹ In diesem Hegel’schen Sinn wird Ästhetik auch in der wissenschaftlichen Visualisierung verstanden – in Bezug auf die Kartografie siehe [ROBINSON ET AL. 1995, S. 399 f.]. Einen Hinweis, dass die ästhetische Gestaltung wissenschaftlicher Visualisierungen der vorsätzlichen Vermittlung irgendwelcher sinnlichen oder begrifflichen Erkenntnisse zu dienen hätte, konnte ich in den Lehrbüchern von [ROBINSON ET AL 1995], [HAKE & GRÜNREICH 1994] oder bei [SCHUMANN & MÜLLER 2000] nicht finden.

⁶² Schriften mit Schwerpunkt Ästhetik: „Kierkegaard. Konstruktion des Ästhetischen“ (1933), „Ästhetische Theorie“ (1970).

Fazit

Wie im 3. Kapitel dargestellt, kann die Wahrnehmung darauf gerichtet werden, *wie* etwas ist (Sinnesempfinden), *was* etwas ist, also auf die begriffliche Bestimmung (Sinneserkennen) und darauf, *ob* etwas ist (Sinnes-Intentionalität). Ästhetische Wahrnehmung thematisiert die Erfahrung des Wie als Voraussetzung für die Bestimmung des Was.

5.2 Künstlerische Mimese

Als Ansatzpunkt für die Auseinandersetzung des Verhältnisses von Kunst und Wissenschaft wird Paul Klees pointiertes Wort „Kunst gibt nicht das Sichtbare wieder, sondern macht sichtbar“ [KLEE 1919] gewählt. Das Potenzial zur Sichtbarmachung des Unsichtbaren wird in einer Karikatur besonders deutlich. Zweckmäßig ist die Auswahl dieses Zitates, da sich zu ihm wohl die übergroße Mehrheit der Kunstschaffenden zu bekennen vermag und damit ein mindestens im Bereich der Kunstschaffenden akzeptierter Ausgangspunkt vorliegt. Wenn man Klee unterstellt, dass er mit dem (sofort) Sichtbaren das leicht Einsichtige und mit dem (zunächst) Unsichtbaren meint, was in seiner naturgegebenen Form nicht für alle sichtbar ist, dann ist der Künstler derjenige, der durch seinen speziellen Weltzugang (besonders: gesteigertes Wahrnehmungsvermögen, Erkenntnisgewinn im Gestalten) etwas zunächst nur ihm Erfahrbares so darzustellen vermag, dass es in der von ihm aufbereiteten Form auch für andere, das Publikum, erkennbar wird. Dieser Zug, sich etwas anzueignen, um es anderen leichter verständlich darzustellen, unterscheidet den Künstler nicht vom Wissenschaftler. Beide leisten Pionierarbeit und die Frucht ihrer Arbeit ist die für Andere verständliche Darstellung, ohne dass diese Anderen ein vergleichbares Maß an Mühe, Fähigkeit oder Ausstattung für diese Erfahrung aufzubringen hätten. Auch ein Wissenschaftler gibt nicht das Sichtbare wieder, sondern macht sichtbar. Der Unterschied zwischen künstlerischem und wissenschaftlichem Tun liegt im Verharren im nicht-verbal-Gedanklichen des Einen und die Transformation in Begriffe und grafische Zeichen des Anderen. Klee selbst hat in seinem Werk bewiesen, wie durch das Darstellen von Beziehungen und Zusammenhängen Unsichtbares sichtbar werden kann [REGEL 1986, S. 32]. Zur Veranschaulichung einer für Klee typischen Charakterisierung ist Abbildung 27, als weiteres Beispiel eine Zeichnung der Horizontlinie eines Höhenzuges Abbildung 28, wiedergegeben.

M. Bockemühl [BOCKEMÜHL 1982] beschreibt in seiner Habilitationsschrift das Wahrnehmen als wechselseitiges Durchdringen von Anschauen und Denken; beides finde gleichzeitig statt. Dieser Prozess wird bei jedem Wechsel der Aufmerksamkeit neu angestoßen und bricht mit der Zuordnung eines Begriffes ab; der Prozess der Wahrnehmung mündet in einer begrifflichen Feststellung. Die Anteile variieren von Fall zu Fall, bei einem begrifflich nicht fassbaren Bild dominiere das Schauen. Die Dauer des Prozesses wird erst bewusst, wenn etwas nicht sofort Verständliches beobachtet wird, wie beispielsweise Abbildung 27. Diese Art der Betrachtung, auf die Wirkung von etwas zu achten, ist künstlerisch Tätigen Gewohnheit.

Die künstlerische Abbildung ist gekennzeichnet durch eine Auswahl und durch eine Metamorphose des ursprünglichen Erlebnisses in die künstlerisch transformierte Abbildung. Durch Auswahl und künstlerische Umwandlung kann Unsichtbares sichtbar werden. Die Verfälschung von Farbe oder Form durch den künstlerischen Abbildungsprozess bietet dem Betrachter die Chance, das Verhältnis des Sehens zu den abgebildeten Dingen mit Bewusstsein zu durchdringen. Diese Abstraktionsleistungen und alle sich daran anschließenden Wiedererkennung- und Interpretationsleistungen bleiben bei der realitätsnahen Abbildung der Natur gewohnheitsmäßig unbewusst. Die künstlerische Transformation ermöglicht eine gewisse Lösung von der Faszination des Gegenstandes. Sie wird zur Chance, sich auf die Erscheinungsweise unmittelbar einzulassen. [BOCKEMÜHL, M. 1995]

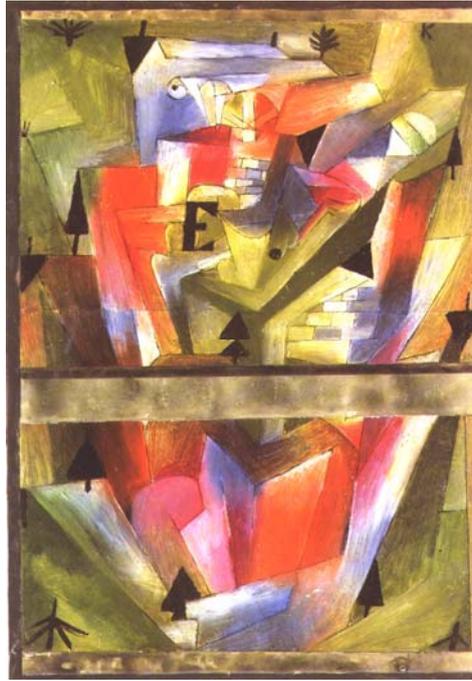


Abbildung 27 Paul Klee, 1921: „Landschaft bei E (in Bayern)“. Beispiel einer Deutung von Landschaft durch die künstlerische Vision. Die Landschaft ist aus Rechtecken und Dreiecken komponiert, umgeben von Zeichen für Landschaftselemente. Ein Nadelbaum hängt auf dem Kopf und das große E schwebt in einer darüber liegenden Ebene frei im Raum, sodass beide das Bild vollends jeder rationalen Erklärung entrücken.

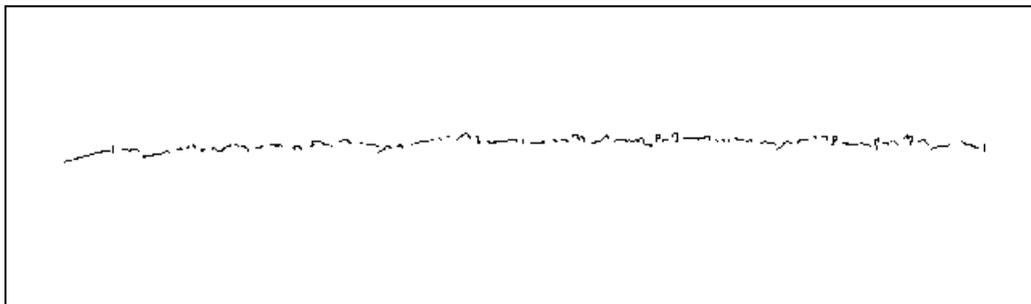


Abbildung 28 Jochims (1983): „Horizontlinie“. Diese nicht messbare Linie vermag die Landschaft treffender zu charakterisieren als tausend Daten, ein Messbild ist es nicht. (Vgl. [WENDERLEIN 1996]) (Quelle: [JOCHIMS 1983])

Das Verharren im nicht gedanklich Sinnlichen bringt es mit sich, dass die künstlerische Darstellung nicht frei von oberflächlichen Zufälligkeiten der Art und Weise ihrer Darstellung ist. Diese unvermeidbaren Zufälligkeiten (philosophisch: „Akzidenzien“) in einer gegenständlichen Darstellung des Unsichtbaren wurden für Kandinsky Begründung der abstrakten Kunst [KANDINSKY 1911]. Aber auch dort spielen Zufälligkeiten eine Rolle, wenn nicht gerade konkrete Dinge wie etwa die Erfahrung von Farben oder Formen in Rede stehen. Diese unerwünschten und Fehlinterpretationen bergenden Zufälligkeiten werden demgegenüber in der wissenschaftlichen Darstellung ausgeschlossen. Zumindest ist dies ihr Anspruch; und am weitesten verwirklicht wird dieser Anspruch in einer mathematischen Darstellung.

Wollte man nach dem Gesagten Kunst als unvollkommene Wissenschaft begreifen, griffe dies zu kurz. Denn wesentlich ist nicht ihre nicht-verbal-begriffliche Darstellungsweise, sondern ihr Vermögen, das in Worten oder gar in Formeln Unsagbare näher zu bestimmen und auf eine den Kern treffende Ausdrucksform zu bringen. Zöge man auch die Selbstzeugnisse Max Beckmanns (1884–1950), Ernst Barlachs (1870–1938) oder Max Liebermanns (1847–1935) hinzu, was das Unsichtbare sei, das sie sichtbar machen wollten, würde man sehen können, dass alle in die glei-

che Richtung zielten: Ihr künstlerisches Tun sei der Versuch, das „komplexe Ganze des Unsagbaren zu fassen und akzentuierend zu benennen“ [REGEL 1986, S. 33].

Künstler arbeiten nicht nach den Maßstäben der Logik, sondern aus einer den Gesetzen der Logik entzogenen Ergriffenheit. Im künstlerischen Prozess nimmt das, was auf andere, insbesondere auf wissenschaftssprachliche, Weise nicht kommunizierbar ist, Form an, um dann im Erleben des Kunstrezipienten wieder in Erleben umzuschlagen. Mit dem Vermögen, nicht formulierbare Erfahrungskomplexe in sichtbare Formen mit erlebbarer Wirkung zu transformieren, ist bildende Kunst als eine zur logischen, eindeutigen, widerspruchsfreien Wissenschaft komplementäre Erkenntnisform anzusehen (These 19). Die künstlerische Abbildung transformiert dabei nicht die empfindbare Wirklichkeit in Bewusstseinsinhalte, dieser Schritt bleibt den Rezipienten überlassen. „Was den Maler auszeichnet, ist allein, daß er nicht wie der Erkennende den Vorgang [die Anschauung – d. Verf.] im gedachten Begriff begrenzt, sondern im sinnlich zu erschauenden Gebilde veranlagt.“ [BOCKEMÜHL, M. 1982, S. 180] Der Beitrag der künstlerischen Gestaltung ist die Aufbereitung sinnlicher Erfahrungsinhalte mit dem Ziel der Kommunizierbarkeit, ohne die ästhetisch-sinnliche Ebene (die der Begriffsbildung vorgelagerte Phase) zu verlassen. Die künstlerische Auseinandersetzung, also die Tätigkeit, ist ein lehrreiches Verweilen im sinnlich-ästhetischen Bereich. Mit ihr einher geht eine intensive Begegnung mit der noch nicht interpretierten Wirklichkeit mit dem im Eingang des Kapitels genannten positiven Effekten. „Der künstlerische Umgang mit Farbe erschließt gänzlich andere Dimensionen des Wahrnehmens.“ [BOCKEMÜHL, M. 1995, S. 6] Es ist eine besondere Beobachtungsweise, die mit ihrer aktiven Komponente (künstlerisches Gestalten) wirklichkeitsbezogene Erfahrungen erschließt, die einem rein passiven Konsumenten (Beobachter) verborgen bleiben. Das (künstlerisch transformierende) Nachahmen der vorfindlichen Erlebnisbereiche hat zunächst (nur) sinnlich-ästhetischen Erkenntniswert, der jedoch auch für eine begriffliche Erkenntnis als deren Erfahrungsgrundlage von Bedeutung ist. Daher wäre es für die begriffliche Erkenntnis förderlich, wenn der Naturforscher zunächst durch künstlerisches Tätigsein seine ästhetischen Erfahrungen vertiefen würde. Das hier gemeinte Nachahmen kann mit dem prägnant verdeutlicht werden, was Gebauer & Wulf mit „Mimesis“ bezeichnen: „Mimesis ermöglicht es dem Menschen, aus sich herauszutreten, die Außenwelt in die Innenwelt hereinzuholen und die Innenwelt auszudrücken. Sie stellt eine sonst nicht erreichbare Nähe zu den Objekten her und ist daher auch eine notwendige Bedingung von Verstehen.“ [GEBAUER & WULF 1992, S. 11] Da der Begriff „Mimesis“ nicht an die Grenzziehungen zwischen Kunst, Wissenschaft und Leben gebunden ist, ist er geeignet, die wissenschaftliche Fruchtbarkeit künstlerischer Tätigkeit zu benennen: Die nachahmende Darstellung ist eine allgemeine *conditio humana*, die im künstlerischen Schaffen bewusst gepflegt wird. Und der mimetische Anteil eines Kunstwerkes ist es, der dem Kunstrezipienten als – künstlerisch vermittelte – Erfahrung der Wirklichkeit durch das künstlerische Schaffen leichter zugänglich gemacht wurde.

Wer für die Einbeziehung künstlerischer Abbildungen in die wissenschaftliche Begriffsbildung plädiert, hat die Frage nach der Authentizität des Abbildes in Bezug auf das Vorbild zu beantworten. Denn das Abbild trägt Doppelcharakter: Einerseits weist es auf ein Reales (Substanz), andererseits ist es unwirklicher Schein (Akzidenz). Das eine vom anderen zu trennen, gelingt durch den Versuch, die am Kunstwerk gewonnene Erfahrung am Original willentlich zu wiederholen. Soweit dies gelingt, ist die am Kunstwerk gewonnene Erfahrung auf das Original übertragbar, zunächst Unsichtbares ist sichtbar geworden.

Für eine tiefere Auseinandersetzung mit dem Verhältnis von künstlerischem Bild und Wirklichkeit sei auf die Schrift [BOCKEMÜHL 1982] verwiesen.⁶³ Ganz im Sinne des Gesagten stellt Bockemühl fest: Eine Bildlichkeit, bei der der Vorgang, der sich durch die Anleitung des Gebildes

⁶³ Sie reflektiert Bildrezeption an Beispielen gegenständlicher und konkreter Malerei unter Berücksichtigung aktueller erkenntnistheoretischer und wahrnehmungspsychologischer Auffassungen.

gestaltet, das Bild-Erkennen, mit bestimmten organisierenden Prinzipien des Weltprozesses in eins fällt, macht sichtbar. Was den Künstler auszeichnet, sei, dass er den Vorgang der Produktion der Weltgesetzlichkeit im sinnlich erscheinenden Gebilde veranlagt: Der Künstler ermögliche, was der Anschauende verwirklicht. Darin läge, so Bockemühl weiter, für den nur Anschauenden das Geschenk des Künstlers. [BOCKEMÜHL 1982, S. 180] Mit Klees Worten: In der Sichtbarkeit der Bilder erscheint Unsichtbares.

Ergänzende Anmerkung: Der Gedanke, dass künstlerisches Tun zur Naturerkenntnis beiträgt, fand in der Romantik überaus regen Zuspruch. Beispielweise sagte Schelling (1775–1854) in seiner „Idee der Natur“ (1795), dass es Kunst sei, die die (Rück-)Vereinigung von Natur und Geist ermögliche.⁶⁴ In den Schriften namhafter Romantiker finden sich Gedanken, welche über einhundert Jahre später vom Holismus vertreten worden. Beispiele dafür sind die Verbundenheit von allem mit allem oder die Beeinflussung der Teile durch das Ganze (beide Novalis).⁶⁵ Im 20. Jahrhundert setzte Heidegger (1889–1976) in seinem Spätwerk explizit auf ein Denken, das die Nähe zu Dichtung und Kunst sucht. Die vorgelegte Darlegung zu den Aspekten der Wahrnehmung unterstützt nun sowohl die These, dass „Alles mit allem verbunden sei“ als auch den Beitrag künstlerischen Schaffens zur Erfahrung der Wirklichkeit als Voraussetzung ihrer angemessenen begrifflichen Durchdringung. Mit der ästhetischen Betrachtung sind wir fähig, Erfahrungen noch vor ihrer begrifflichen Analyse zu gewinnen. Da sie sowohl Grundlage einer angemessenen Begriffsbildung als auch unverzichtbarer Bestandteil künstlerischer Tätigkeit ist, ließe sich der in diesem Sinne interpretierten Aussage, die Kunst ermögliche die Vereinigung von Natur und Geist, zustimmen. Die künstlerische Tätigkeit intensiviert die Erfahrung der Wirklichkeit in dieser vor-begrifflichen Ebene.⁶⁶

Bildende und darstellende Künste bedienen sich des Raumes zur Sichtbarmachung des Unsichtbaren. Das Unsichtbare, das durch die Kunst sichtbar werden soll, hat jedoch nicht begrifflich funktionalen, sondern deskriptiven Gehalt, wie etwas ist. Sofern dem Rezipienten nicht deutlich ist, was Erscheinung und was die objektgegebene Eigenschaft ist, ist Kunst vor allem Anregung, die bei der Betrachtung des Kunstwerkes erfahrenen Charakteristika am Original selbst zu suchen und zu finden. Eigenes künstlerisches Tun vertieft die Beobachtung, wie das bestimmte Phänomen ist.

5.3 Wissenschaftliche Mimese

Die historisch überkommene „Zeichenkunst im Dienst der beschreibenden Naturwissenschaften“ (Buchtitel von F. BRUNS, 1922) schafft für die Bildung sachgerechter gedanklicher Verbindungen Bilder, die das Typische des dargestellten Objektes erkennbar machen. Durch bewusste Auswahl und Abstraktion vom konkreten Einzelfall sind naturbeschreibende Zeichnungen einer Fotografie oft nicht nur ebenbürtig.

Eine Erscheinung als Bild aufgefasst, regt die Bildung einer zusammenhängenden Ganzheit im Bewusstsein an, denn „Das Bild ist die Form, durch die wir auf den Weg gebracht werden, einen Zusammenhang zu erfassen“ [BOCKEMÜHL, J. 1998]. Die Verbildlichung, synonym für Visualisierung, schafft aus den Einzelwahrnehmungen ein Zusammenhängendes:

⁶⁴ Fuchsloch, N. 2001 „Der Poet versteht die Natur besser wie der wissenschaftliche Kopf“ – Novalis und die Romantisierung der Naturwissenschaften. Vorlesung vom 27.11. 2001; Bergakademie Freiberg.

⁶⁵ Mit dem Erstarken des Mechanismus und den Erfolgen von mechanistischer Naturwissenschaft im 19. Jahrhundert verloren diese Gedanken an Bedeutung und wurden lange Zeit als „romantische Spinnerei“ abgetan.

⁶⁶ Es sei hinzugefügt, dass auch in der Fachliteratur künstlerische Darstellungen nicht nur visuell wahrnehmbare, als Repräsentationen georäumlicher Objekte in Verbindung mit Fragen des Raumes gebracht werden. Siehe beispielsweise [WENDERLEIN 1996], [KOEMAN 1972] oder [MORGENSTERN 2003]. Was ein künstlerisch vermittelter Eindruck, nicht ein möglicherweise vorhandener Informationsgehalt, zur rationalen Erkenntnis beiträgt oder beitragen kann, wird jedoch nicht klar.

„Ein Farbleck in einem Bild oder ein Gegenstand in der Landschaft – für sich betrachtet – wecken die Illusion, dass man sie beliebig verstellen könne ohne Rücksicht auf die Gesamtheit. Die Wahrnehmung eines Farbleckes im Bild oder eines Gegenstandes im Bildzusammenhang der Landschaft führt zur Erfahrung, wie sich mit dem Verstellen des Einzelnen sowohl die Erscheinung des Ganzen als auch die des Einzelnen selbst verändert.“
[BOCKEMÜHL, J. 1998]

Mit einer figürlich/realistischen Zeichnung macht man sich die Erfahrungen (Farben, Richtungen, Bewegungen) unter dem Aspekt des Nebeneinander deutlich. Die wissenschaftliche Abbildung rückt die empfundene Ganzheit in den Blick der Aufmerksamkeit. Dies kann auch dem Zusammensetzen analysierter Teile einen höheren Grad an Wirklichkeit verleihen.



Abbildung 29: Beispiel einer naturwissenschaftlichen Zeichnung. Das Charakteristische der äußeren Erscheinung ist in der Zeichnung dargestellt. A. Dürer: Großes Schöllkraut, *Chelidonium majus* (Quelle: <http://ruskin.oucs.ox.ac.uk/texts/browse.xq?id=EXAMPLES.ED.04, 26.5. 2005>)

Bei einer weiten Auslegung des Begriffes der wissenschaftlichen Zeichnung geht sie in den Bereich der Visualisierung über: Nicht nur die exakte Wiedergabe oder Rekonstruktion eines Objektes, die grafische Darstellung einer Tabelle oder eines bestimmten Zusammenhanges (Zusammenhang von Schädelgröße und Knochenskulptur) seien wissenschaftliche Zeichnungen, sondern auch die Visualisierungen von Ideen, Hypothesen oder Theorien (z. B. Wegner'sche Kontinentalverschiebungstheorie). [FISCHER 1999, S. 8 f.] Stets sind Zusammenhänge darzustellen.

5.4 Naturwissenschaftliche und künstlerische Mimese im Vergleich

Naturwissenschaftliche und künstlerische Zeichnung unterscheiden sich. „Der Maler wird alles, was den malerischen Eindruck seiner Arbeit schädigt, unterdrücken wollen, der Naturwissenschaftler die Wiedergabe von Einzelheiten, die systematisch oder sonst wissenschaftlich von Bedeutung sind, für den Hauptzweck der Arbeit halten.“ [BRUNS 1922, S. 2]. Die wissenschaftliche Zeichnung hat das Objekt anatomisch korrekt wiederzugeben. Die Genauigkeit der Details richtet sich nach dem Ziel der Darstellung. Die Zeichnung kann einen Typus darstellen, der eigentlich in der Natur nicht existiert, indem sie die typischen Merkmale eines Taxons (Gattung, Art usw.) in einer Zeichnung vereint und so die gruppenspezifischen Merkmale anstelle von individuellen Besonderheiten darstellt. Die Detailtreue wissenschaftlicher Zeichnungen kann aber auch bis in die Unterscheidung zwischen verschiedenen Exemplaren einer Art vordringen, während bei Kunstwerken „der Ausdruck und die Komposition“ wesentlich seien [FISCHER 1999, S. 9]. Hebt man die Unterschiede hervor, obwohl die Übergänge fließend sind, wie beispielsweise foto-realistische Gemälde zeigen, beziehen sich wissenschaftliches und künstlerisches Abbild auf die Sichtbarmachung eines Unsichtbaren. Aber sie unterscheiden sich auch darin. Ein Künstler stellt dar, was er mit dem inneren Auge sieht, während in der wissenschaftlichen Zeichnung das für jedermann äußerlich Sichtbare abgebildet wird. Der Aussage, dass es der „Ausdruck“ [FISCHER 1999, S. 9] bzw. der „Eindruck“ [BRUNS 1922] sei, worauf es im Künstlerischen ankäme, möchte ich in folgender Weise zustimmen: Das Gewicht einer wissenschaftlich beschreibenden oder einer künstlerischen Darstellung liegt auf unterschiedlichen Kriterien der Sinneswahrnehmung. Die

Exaktheit der Wiedergabe einer wissenschaftlichen Zeichnung bezieht sich auf begrifflich Festgestelltes.⁶⁷ Die künstlerische Darstellung ist demgegenüber exakt, hinsichtlich ihrer fühlbaren, nichtgedanklichen Aussage, hinsichtlich eines „ästhetischen Gefühles“ [BRUNS 1922, S. 1]. Das Kunstwerk *vermittelt* Empfindungsqualitäten, die der oder die Kunstschaffende *unmittelbar* erlebt hat und die der ästhetischen Betrachtung zugänglich sind, siehe Kapitel 5.1. Im künstlerischen Schaffen haben Gedanken nach Auffassung vieler Kunstschaffender draußen zu bleiben:

„Wo überall der Sprachgebrauch das Wort Kunst anwendet, scheint als Gemeinsames zugrunde zu liegen, dass die Tätigkeit als eine ‚gefühlsmäßig‘, durch unmittelbare Anschauung, nicht durch abstrakte Begriffe ‚erkenntnistätig‘ geleitete erkannt oder wenigstens vorgestellt wird. [...] Ein unbestimmtes Gefühl sagt dem Künstler, daß die Unmittelbarkeit und instinktive Sicherheit seines Ausdruckes gemindert werden können, wenn er ‚bewußt‘ arbeitet.“ [BRUNS 1922, S. 3]

Die Authentizität der künstlerischen Darstellung bezieht sich nicht auf begrifflich Definiertes. Ihr Feld ist das Sinnensempfinden. Er oder sie hat dafür zu sorgen, dass die Darstellungsmittel der Wirkung auf den Betrachter untergeordnet sind und somit eine auf das Objekt bezogene Empfindung gewonnen werden kann, wenn das künstlerische Abbild betrachtet wird. Eine Verschiebung der Sinnesmodalität zwischen dem erfahrenen Original und der künstlerischen Darstellung muss dieser Authentizität keinen Abbruch tun, sie ist nichts Besonderes, wie beispielsweise die malerische Darstellung einer ursprünglich nicht visuellen Erfahrung in Edvard Munchs „Der Schrei“ (Abbildung 30) oder Michelangelo Buonarrotis oder Antonio Vivaldis „Die vier Jahreszeiten“ (1534 bzw. 1775) zeigen. Für die Beurteilung des Realitätsbezuges ist jedoch bei der künstlerischen Darstellung der Vergleich mit dem Original unverzichtbar, wie in Abschnitt 8.7.1 ausgeführt.

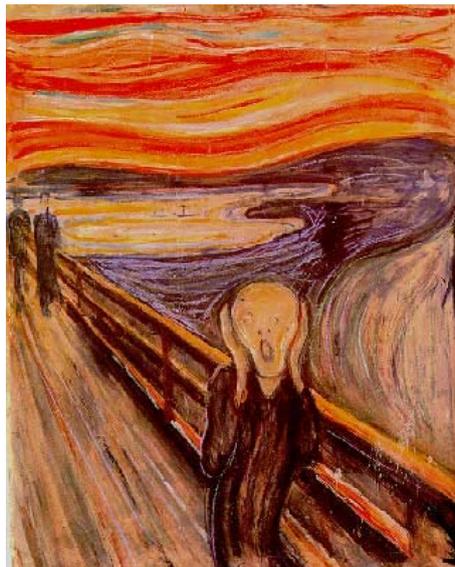


Abbildung 30 Edvard Munch (1863–1944): „Der Schrei“ (1893)– Beispiel einer synästhetischen Transformation von Hör- in Gesichtsempfindungen. „Ich ging mit zwei Freunden den Weg entlang – dann ging die Sonne unter – der Himmel wurde plötzlich blutrot – ich hielt an, lehnte mich todmüde an einen Zaun – über dem blauschwarzen Fjord und der Stadt lagen Blut und Feuerzangen – meine Freunde gingen weiter und ich stand immer noch zitternd vor Angst – und ich fühlte, dass ein großer unendlicher Schrei durch die Natur ging.“ (Quelle: <http://www.bildungsservice.at/faecher/be/Kunstwerk/munch.htm>, 30.5. 2005)

Böhme vergleicht die Wissenschaftssprache mit dem sprachlichen Kunstwerk am Beispiel von Goethes „Die Metamorphose der Pflanzen“ [BÖHME 1982]. Einige der von ihm ausgemachten Unterscheidungen können die hiesige Gegenüberstellung bereichern. Es sind dies die bei der wissenschaftlichen Beschreibung wesentlich eingeschränkten Ausdrucksmöglichkeiten und Bild-

⁶⁷ Ein Beispiel: Die Blüte ist vierblättrig, gelb und von kleinem Wuchs.

funktionen – sie beschränkten sich bei wissenschaftlichen Abbildungen auf die Mitteilungsfunktion – und es ist dies die Eindeutigkeit des Dargestellten. Die von Böhme besprochene „Disziplin“ sowohl in der wissenschaftlichen als auch in der künstlerischen Abbildung ist in Bezug auf die Visualisierung bereits angesprochen worden: die Arbeit des Künstlers sei kein Zufallsprodukt, sondern ermögliche eine gültige Aussage.

Zusammenfassend: Künstlerische Mimesis ist Metamorphose eines ausgewählten Merkmals im Gegensatz zur wissenschaftlichen Mimesis. Bei ihr wird eine maximale Ingesamähnlichkeit aller Sinneempfindungen angestrebt, die mit diesem Medium übertragen werden können.

5.5 Fazit

Ästhetische Beobachtung hat in folgenden Zusammenhängen wissenschaftliche Bedeutung: Erstens ist sie die Möglichkeit, das zu Untersuchende noch vor dessen begrifflicher Interpretation zu erfahren. Sie ist die einzige unmittelbare Erfahrungsgrundlage wissenschaftlicher Tätigkeit. Zweitens umfasst sie verschiedene Sinnesqualitäten wie Wärme, Duft, Geschmack, Härte, Töne, Druck, Gleichgewicht, Helle, Farbe usw. bis zur Bewegung. Drittens ermöglicht sie die Erfahrung nicht punkthafter Elemente. Der Zusammenhang ist nicht dinglich, sondern bildlich, atmosphärisch. Die künstlerische Bearbeitung ästhetischer Erfahrungen führt zu poetischen Verdichtungen einer über das Technische hinausführenden Wirklichkeitsbeziehung. Der ursprüngliche innere Zusammenhang kann durch die Metamorphose des künstlerischen Schaffensprozesses besser sichtbar werden. In Bezug auf die Wissenschaft dient künstlerische Betätigung der verbesserten Beobachtung. Die Rezeption der Kunstwerke regt vor allem Anregung zum Aufsuchen der im Kunstwerk erfahrenen Erlebnisse in der Wirklichkeit an.

6 Rahmenbedingungen des verstehenden Beobachtens

„Erkenntnisse können nicht herbeigeführt werden wie Rechenergebnisse.“ [SOENTGEN 1998, S. 79] Es kann kein Algorithmus angegeben werden, der zu neuen Einsichten führt. Aber es können Rahmenbedingungen angegeben werden, wie die qualitative Seite der Phänomene voraussetzungsfrei untersucht und erkannt werden kann.

Hadamard hat das Finden großer Entdeckungen im Bereich der Mathematik beschrieben [HADAMARD 1996]. Der Bildung eines neuen gedanklichen Zusammenhanges gehen eine vorbereitende, intensiv suchende Tätigkeit und eine Verarbeitung im Unbewussten voraus, bevor die neue Idee plötzlich bewusst wird. Die von ihm abstrahierten Phasen gelten auch in der Forschung im naturwissenschaftlichen Bereich. Die zweckmäßige Gestaltung der vorbereitenden Phase ist der Gegenstand dieses Kapitels.

Das Ziel einer auf Entdeckung (nicht auf Rechtfertigung) gerichteten Untersuchung besteht vor allem in der Bildung von Begriffen, mit denen ein robuster Umgang mit einem vielfältigen Erscheinungsfeld ermöglicht wird. Dies kann durch die Bildung von Funktionalbegriffen in der Form von Regeln erreicht werden, die viele Einzelfälle zutreffend beschreiben. Den Ausgangspunkt bilden Beobachtungen, die im Verlaufe der Begriffsbildung zu analysieren und zu synthetisieren sind. Die Analyse beginnt mit der Definition der Fakten. Die Synthese hat häufig die Form „Wenn diese Bedingungen vorliegen, dann tritt jenes Phänomen auf“. Die Regeln beziehen sich auf die – als Fakt definierten – Beobachtungsgrößen. Die in den Regeln auftretenden Beziehungen werden typischerweise nach notwendigen und modifizierenden Bedingungen unterschieden.

Ausgangspunkt dieses Kapitels sind die in den vorangehenden Abschnitten dargelegten Aspekte der Wahrnehmungslehre, Erkenntnistheorie, Kunstwissenschaft, Ökosystemtheorie und Ästhetik. Eine wesentliche Voraussetzung für die Fusion dieser sehr unterschiedlichen Wissensbereiche war das Herausarbeiten der Gemeinsamkeiten und der Unterschiede der verwendeten Begriffe. Beispielsweise sprechen einige Autoren in Bezug auf die vorurteilsfreie Begriffsbildung von „sinnlichem Lernen“ [LIPPE 1981], andere von „ästhetischem Denken“ [WELSCH 1995]. In der philosophisch ausgerichteten Erkenntnistheorie wird das, was kunstwissenschaftlich als „ästhetische Betrachtung“ und wahrnehmungspsychologisch als die noch nicht begrifflich interpretierte Empfindung umrissen wird, „phänomenologisch“ ([Merleau-Ponty 1945], [HUSSERL 1907]) oder „ästhetisch“ ([BAUMGARTEN 1750], [SCHWEIZER 1973]) genannt.⁶⁸ Da unter Qualität gemeinhin das verstanden wird, was etwas ist, trifft auch die Bezeichnung „qualitativ“ diese Methode als eine, die Aufschluss darüber anstrebt, was etwas ist.

In den beschreibenden Naturwissenschaften wurden langwierige Auseinandersetzungen um die qualitative Seite der Natur geführt, gemeint sind die aufreibenden Diskussionen um das Wesen einer Sache. Trotz des vollen Durchbruchs quantitativer Wissenschaftsmethoden auch in der Geografie hat Flick die qualitative Forschung für die Sozialgeografie methodisch aufbereitet [FLICK 1995]. Aus der Fernerkundung kommend soll hier das Wissen schaffende Potenzial einer bildvermittelten Erkenntnis für die Erkundung überregionaler Geophänomene vom Grundsatz her aufgezeigt werden. An den Fundus anknüpfend lassen sich folgende Merkmale einer qualitativen Forschung, – grundsätzlich und noch nicht nach Wissenschaftsbereichen oder Methoden spezifiziert – erkennen. (In Kapitel 8 wird ihre Anwendung in der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten geprüft.)

⁶⁸ Der Autor ist sich bewusst, dass diese begriffliche Gleichsetzung allein dem Suchen entsprechender Inhalte in den anderen Wissensbereichen dienen soll und nur in einer Glaubenskriegen überblickenden Sichtweise Bestand hat.

6.1 Zusammenhänge erhalten

Begriffe sind Verbindungen im Verständnissystem. Erkennen heißt, etwas mithilfe von Begriffen in das Verständnissystem einzuflechten. Ideen und Begriffe ergänzen die Erfahrung um die (ideellen) Zusammenhänge zwischen ihnen. Das Ziel, das mit der Anwendung der mathematischen Denkweise in Natur- und beschreibenden Wissenschaften erreicht werden soll, ist, diejenigen Gesetzmäßigkeiten der Phänomene untereinander sichtbar zu machen, die ihnen tatsächlich inhärent sind. Um dieses Ziel zu erreichen, ist die Beobachtung so zu führen, dass der gesuchte Zusammenhang in der Versuchsanordnung noch vorhanden ist.⁶⁹

Die systemischen Eigenschaften sollen innerhalb des natürlichen Umfeldes, in dem sie erscheinen, beobachtet werden. Jede Auswahl ist schon eine Reduktion, eine Vereinfachung. Mit ihr tritt an die Stelle der Wirklichkeit die Annahme, dass das zu untersuchende Phänomen von den ausgesonderten Umständen nicht (wesentlich) abhinge. Durch die Wahl der Beobachtungsbedingungen (Person, Perspektive, Zeit) findet ganz zwangsläufig eine Auswahl statt; das Ding kann nicht zu allen Zeiten aus allen Richtungen beobachtet werden. Eine über das Notwendige hinausgehende Isolation setzt zusätzliche willkürliche Bedingungen. Sicherlich, der Verzicht auf die Einschränkung der unüberschaubaren Vielfalt potenzieller Einflussfaktoren, in der Wissenschaftstheorie „Reduktion“ genannt, macht es nicht gerade leicht, Zusammenhänge zu erkennen. Jeder Schnitt, der den Untersuchungsgegenstand von seinem Umfeld trennt, ist eine Annahme, die auch die Erfahrung des Untersuchungsgegenstandes von der Wirklichkeit trennt. Für emergente Eigenschaften gilt daher: Das Beobachten isolierter Einzelfaktoren führt nicht zur Erfahrung des Zusammenhanges. Phänomene sollten daher möglichst im *Kontext* beobachtet, Einzelheiten untereinander verglichen und als Teile eines Ganzen gesehen werden. (Diese Herangehensweise findet sich auch bei [JØRGENSEN & MÜLLER 2000].)

Es kommt bei allen Untersuchungen darauf an, zu bestimmen, inwieweit es zu einem Ganzen gehört und wieweit es berechtigt als Einzelnes betrachtet werden kann. Diese Grenze fällt bei einzelnen Untersuchungsgegenständen unterschiedlich aus: In der Mechanik fester Körper kann in viel stärkerem Maße von isolierten Teilen ausgegangen werden als bei der Untersuchung von Lebewesen oder emergenten Prozessen. Darauf verweist auch Minsen:

„Man müsse zu Methoden kommen, wo nicht Elemente zu untersuchen sind, deren Addition später nicht das lebendige Ganze ergibt. Stattdessen müsse man ein Analyseprodukt haben, das zum Unterschied von den Elementen über alle Eigenschaften verfügt, die dem Ganzen eigen sind [...]“ [MINSSEN 1981]⁷⁰

Zu den bewahrenswerten Zusammenhängen gehört auch die fortwährende Dynamik, denn

„Genau genommen sind alle Systeme dynamische Systeme, auch solche, die uns eher statisch erscheinen, wie der Stuhl oder das Straßburger Münster. Über einen längeren Zeitraum gesehen, unterliegen sie Alterserscheinungen [...], die bei gewissen Untersuchungen eine Rolle spielen könnten.“ [BOSSEL 1994, S. 17]

Es ist daher angeraten, ein Phänomen explizit als Prozess zu erleben, um die Begriffsbildung noch vor der gewohnheitsmäßigen Erzeugung einzelner räumlicher Dinge beginnen zu können. Dabei kann das Außerkraftsetzen der gewohnten Verdinglichung hilfreich sein.

6.2 Voraussetzungslosigkeit

Um mehr zu erfahren, als in Denkmustern bereits umfasst ist, müssen Begriffe als Postulate verwendet werden, die glaubhaft und einsichtig, aber auch veränderbar sind. Sie sollen den Untersuchungsgegenstand auf eine bestimmte Weise beleuchten, jedoch ohne die aktuelle Erfahrung in

⁶⁹ In Abwandlung eines Goetheverses könnte man formulieren: Wer will was erkennen und beschreiben, darf nicht zuerst den Geist herausschleiben. Denn, hält er die Teile in seiner Hand, fehlt leider nur das geistige Band. (Goethe: „Wer will was Lebendig's erkennen und beschreiben/ sucht erst den Geist herauszutreiben/ dann hat er die Teile in der Hand/ fehlt leider! Nur das geistige Band.“ [Goethe, J. W. v. 1808 Faust, Erster Teil, Vers 1938 f. Ditzingen: Reclam, 1986])

⁷⁰ Zitiert unter Verweis auf Wygotsky, L. S. 1971 Denken und Sprechen. Frankfurt: Fischer 1971, S. 5.

eine vorgewusste Richtung zu zwingen. Solange das vom Begriff Beleuchtete auf ihn belehrend zurückwirken kann, bleibt Begreifen entwicklungsfähig, für neue Perspektiven offen. Selbstorganisierende Begriffe entwickeln sich im Beobachten, Forschen und Denken laufend weiter. Begriffe sind damit ein Erkenntnismittel. Mit veränderlichen Begriffen zu arbeiten, bleibt (in der Phase der Begriffsbildung) alternativlos, wenn nicht von vornherein auf Erkenntnis von Neuem verzichtet werden soll und einzig Eigenschaften von Modellen, Strukturen oder Voraussetzungen studiert werden sollen. Andernfalls käme es bei der Suche nach bislang Unbekanntem zu dem paradoxen Effekt, dass ausgerechnet das Hilfsmittel den Erfolg verhinderte [SOENTGEN 1998, S. 85]. (These 9)

Das Postulat der Voraussetzungslosigkeit trennt eine auf das Verstehen gerichtete Untersuchung von anderen. Sofern Naturwissenschaften an zählende oder messende Methoden gebunden sind, wird eine Gliederung in gleichartige Objekte bereits vorausgesetzt. Technische Wissenschaften gehen darüber hinaus von Ursache und Wirkung aus, da die Kausalbeziehung die Grundlage jeder Technik ist. Unter dem technischen Aspekt wird die Wirklichkeit daher auf Kausalbeziehungen abgesucht. Demgegenüber bedeutet Voraussetzungslosigkeit, sich bewusst zu sein, dass ich es bin, der die Welt in Dinge, Objekte, Messbares, Geteiltes usw. gliedert und dass es mehrere – von den Beobachtungen her gesehen – gleichwertige Interpretationen gibt. Da Begriffe Interpretationen der Beobachtungen sind, kann es nicht darauf ankommen, alternativlose, allein geltende Begriffssysteme (synonym: Theorien) zu entwickeln.

Wenn Naturerkundung als Begriffsbildung betrieben wird, wird ein Unterschied zwischen Geistes- und Naturwissenschaften abgetragen, denn in den Geisteswissenschaften ist die Begriffsbildung bzw. -entwicklung die grundlegende Methode. In Mathematik, Natur- und Technikwissenschaften stehen demgegenüber Begriffsfestlegungen, „Definitionen“, am Anfang und ihre Anwendung steht im Zentrum der wissenschaftlichen Tätigkeit. Begriffsentwicklung ist eine Gemeinsamkeit von Natur- und Geisteswissenschaften, wenn ihre Bemühungen auf die Frage nach dem Was gerichtet sind. Die Antwort ist über die Bildung von Begriffen zu erreichen, unabhängig davon, ob die Untersuchungsgegenstände geistiger oder natürlich-materieller Natur sind.⁷¹

Die Hauptschwierigkeit, die der Bestimmung, was etwas ist, entgegensteht, ist die fehlende Unvoreingenommenheit:

„Wir bringen eine solche Fülle von Modellen und Vorurteilen mit, dass die größte Arbeit darin besteht[,] die [...] Vorstellungen abzubauen und aus dem Weg zu räumen. Wir wissen nicht zu wenig, wir wissen meist zuviel. [...] Wir müssen uns immer gegen die Macht des Selbstverständlichen durchsetzen. [...] Was man als Selbstverständlichkeit aufzählen kann, ist gar nicht so bedeutsam; die tiefsten und fast unausrottbaren Selbstverständlichkeiten sind jene, die uns lautlos beherrschen, für die wir keinen Namen haben; sie schlagen unser Denken in den Bann, der nicht durch einen Entschluß zu radikaler Selbstkritik gelöst werden kann.“ [SCHWARZ 1969, S. 27 unter Bezug auf E. Fink]

Wenn sich die Untersuchung auf die Bildung von Verständnis richtet – nicht auf mathematische Beschreibbarkeit, Quantifizierung, technische Simulation oder Nutzung –, hat der Begriff die Wahrnehmung nicht zu beeinträchtigen. Er ist ganz – dem naturwissenschaftlichen Primat der Erfahrung entsprechend – den Beobachtungen unterzuordnen. Die Einhaltung dieser Maßgabe ist von grundsätzlicher Bedeutung, allerdings auch von immenser Schwierigkeit. Bruns [BRUNS 1922, S. 4] sieht in der „mangelnden Fähigkeit, ‚voraussetzungslos‘ zu sehen“ die „eigentlich gefährlichen Fehlerquellen“ einer erscheinungstreuen Abbildung. In dem Moment, wo ich von irgendwelchen Vorgaben ausgehe, ist das Ergebnis bereits in einer bestimmten Weise festgelegt.

⁷¹ Siehe dazu Abschnitt 6.17.

6.3 Unterscheidung der Sinnesqualitäten

Die Unterscheidung von Wahrgenommenem und Gedachtem ist die erste Voraussetzung, um überhaupt wahrzunehmen. Es bedarf einer gewissen Willensanstrengung durch die sich unwillkürlich einstellende Vorstellung von einer Wahrnehmung tatsächlich zur Empfindung dieses Phänomens vorzudringen, ihre ganz spezifische Qualität tatsächlich zu erfahren. Der starke menschliche Hang, alles in ein gedankliches Verhältnis zu bringen, führt dazu, sofort Theorien aufzustellen, noch bevor die Sache selbst wahrgenommen werden konnte. Aber die Unterscheidung der einzelnen Sinnesmodalitäten, insbesondere die Unterscheidung gedanklicher von nicht gedanklichen lässt sich durch genügend Aufmerksamkeit erreichen. Zumindest kann erlernt werden, was erlebt und was gedacht oder vorgestellt wird. Und mit etwas Übung ist man in der Lage, die auf den Untersuchungsgegenstand bezogene Erfahrung von Emotionen, Wünschen, Erwartungen und anderen gedanklichen Inhalten zu trennen. Die Aussortierung von Empfindungen des Wohlbefindens und sachfremder gedanklicher Elemente ist von ausschlaggebender Bedeutung für die unvoreingenommene Bildung der gedanklichen Zusammenhänge. Das ist eine Voraussetzung, um einer Vorherrschaft von Theorien über die Wahrnehmungswelt von vornherein entgegenzuwirken.

Die Vermischung von Empfindungen des Behagens mit anderen Empfindungen ist eine wesentliche Quelle, Sinnesempfindungen als subjektiv zu disqualifizieren: Weil ein und dieselbe Sache dem einen als angenehm, einem anderen als unangenehm, unsympathisch oder schmerzlich erscheint, wird eine Subjektivität behauptet. Eine Unterscheidung zwischen den Sinnesqualitäten gibt objektbedingte Empfindungen auch als objektbedingt zu erkennen. (These 9), (These 13)

6.4 Vielfalt

Phänomene erscheinen unter vielfältigsten Umgebungs- und Beobachtungsbedingungen. Das Verständnis ist umfassender, wenn es in dieser Vielfalt erfahren wird. Bei der Bildung von Verständnis kommt es gerade darauf an, das Phänomen in seiner Vielfalt zu erfahren. Als Beispiel dafür, wie verschiedene Sinnesmodalitäten zur Erkenntnis beitragen, erinnere man sich, wie Gestalt, Farbe, Bewegung, Verhalten und Gesang bei der Charakterisierung eines Vogels zusammenwirken. Gegebenenfalls gegenteilige Sichten sollen ausdrücklich einbezogen werden. Aus der Vielfalt der Beobachtungen und Sichtweisen wird ein Begriff gebildet, der über die Eigenschaften der Einzelbeobachtungen hinausgeht. Auch ist Vielfalt notwendig, um Akzidenzien vom Wesentlichen differenzieren zu können. (Die Vielfalt steht im Gegensatz zur Verifizierung, deren Ziel möglichst identische Wiederholungen sind. Hierzu müssen variable Randbedingungen ausgeschlossen werden.)

Wir verstehen eine Sache, wenn die Einzelfälle als aus einem gedanklichen Zusammenhang hervorgegangen gedacht werden können. Je vielfältiger und dichter die gedankliche Einbindung ist, umso besser wird das Phänomen verstanden. Daher ist eine möglichst große Vielfalt der Erscheinungsweisen eines Phänomens eine zuverlässige Ausgangsbasis für die Bildung des begrifflichen Zusammenhanges. (These 9), (These 10)

Die Vervielfachung der Erscheinungsweise eines Phänomens hat jedoch dort seine Grenze, wo eine Regelmäßigkeit zwischen der Variation der Bedingungen und Kontexte einerseits und die Variation der Erscheinungsweise des Phänomens andererseits nicht mehr erkannt werden kann. Wenn man sich in sehr komplexen Phänomenfeldern der Einsicht in gesetzmäßige Zusammenhänge nähern kann, ist „auf diese Weise die volle Wahrheit unergründbar“ [KUES 1440, I3].

6.5 Bewahrung der Sinnesmodalität

„Die Umwandlung nicht-räumlicher Qualitäten in räumliche Größen hat in Physik und Technik eine hohe Attraktivität und Verbreitung: Die ganze Physik hat sich so zur Beschreibung dynamischer Strukturen von Teilchen und Feldern im ‚Raum‘ entwickelt. Die Qualität einer Farbe oder einer Tonhöhe wird durch die Wellenlänge entsprechender optischer oder akustischer Wellen

ersetzt. Der Physik ist es gelungen, Erlebnisse in den anderen Sinnesräumen in den ‚Raum‘ zu projizieren und dort zu beschreiben.“ [SOFFEL ET AL. 2002] Gschwind steht der Transformation von einer Sinnesmodalität zu einer anderen skeptisch gegenüber:

„Wahrnehmungen eines bestimmten Sinnes dürfen mit ihren Qualitäten nur auf ihresgleichen zurückgeführt werden und nicht auf Wahrnehmungen anderer Sinne, die andere Qualitäten sind, sonst würde der Erkenntnisprozess verfälscht. Die Qualität eines Sinnes ist irreduzibel, nicht durch die eines anderen Sinnes substituierbar.“ [GSCHWIND 2004, S. 5].

Auch Goethe [GOETHE 1810, Bd. IV S. 209], Steiner [STEINER 1886], Scheurle [SCHEURLE 1984] und Maier [MAIER 1977] legen ausdrücklich Wert auf eine Differenzierung zwischen den Sinnesqualitäten, um die Aufmerksamkeit nicht von den je spezifischen Empfindungen der einzelnen Sinnesmodalitäten abzulenken. Dazu sei eine Fußnote Steiners zitiert:

„Die Sinnesqualitäten, die doch zunächst etwas an sich sind und einen gewissen Zusammenhang bekunden, der untersucht werden kann, ohne auf die sie veranlassenden Vorgänge im Raum Rücksicht zu nehmen, traten in der ihnen eigenen Bedeutung vollständig zurück. Man glaubte überhaupt schon alles für die Erklärung derselben getan zu haben, wenn man gezeigt hatte, was sich im Raume quantitativ abspielt, während eine doch aus lauter Qualitäten bestehende Erscheinung sich unseren Sinnen darbietet.“ [STEINER 1897 Band IV, S. 209]

Vergleiche dazu [SOFFEL ET AL. 2002] stellvertretend für die moderne naturwissenschaftliche Praxis: „Der Physik ist es gelungen, Erlebnisse in den anderen Sinnesräumen in den ‚Raum‘ zu projizieren und dort zu beschreiben.“ Physik ist eben nicht Phänomenologie, sondern interpretierte Erfahrung.

Mit der Projektion nicht räumlicher Qualitäten in räumliche Größen verzichtet man auf die Möglichkeit der Beobachtung nicht interpretierter Eigenschaften, die Vielfalt der Erfahrungen wird reduziert. Die Begriffsbildung geschieht nun nicht mehr auf ursprünglichen, d. h. nicht interpretierten Beobachtungen, sondern auf gedanklichen Inhalten.

6.6 Phänomenologie und ästhetische Betrachtung

Der Versuch, Vorgewusstes von der Beobachtung fernzuhalten, ist ein phänomenologischer Ansatz. Dabei handelt es sich gleichsam darum, sich „systematisch dumm zu stellen“ [SOENTGEN 1998, S. 199]. Phänomenologische Beschreibungen sollen den Bereich des Untersuchungsgegenstandes mit Mitteln der gewöhnlichen Alltagssprache umschreiben, dabei Unterstellungen – wie beispielsweise von Ursächlichkeiten – und Deutungen vermeiden. Sie sollen den wesentlichen Eindruck beschreiben, den der Untersuchungsgegenstand auf den Beobachter macht. „Wesentlich“ weist darauf hin, dass es sich um einen Eindruck handeln soll, der „sich bei jeder Variation beliebiger Annahmen unveränderlich so aufdrängt, daß sein Vorkommen nicht im Ernst abgestritten werden kann“ [SCHMITZ 1967]. Solche Beschreibungen können wie die ihnen zugrunde liegenden Beobachtungen von sehr verschiedenen Positionen ausgewertet (interpretiert) werden.

Die phänomenologische Untersuchungsmethode kommt weitgehend ohne spezialwissenschaftliche Begriffsbildung aus, da sie sich per definitionem an das Beobachtete zu halten hat: Jedes wissenschaftliche Verständnis muss auf der gewöhnlichen Sprache beruhen, denn nur dort können wir sicher sein, die Wirklichkeit zu berühren. [HEISENBERG⁷²] Soentgen schlägt vor, sich eines Vokabulars aus dem Alltag, ohne spezialwissenschaftliche Begriffsbildung zu bedienen, die „einfachen Dinge“ (Husserl) sich „dumm stellend“ zu beschreiben.

6.7 Authentizität und Ausdruckstärke

Sinnesempfindungen dürfen nicht mit Vorstellungen verwechselt werden: Die Sinnesempfindung ist so klar und deutlich zu erleben dass sie nicht mit einer Vorstellung oder Erinnerung verwechselt und in Zweifel gezogen werden kann. Damit genügen wir der ersten Regel, die Descartes im

⁷² Zitiert nach Bork 2006: Wort für Wort. *Politisches Feuilleton* im Deutschlandradio Kultur am 1.2. 2006, 07:22 Uhr.

„Discours de la méthode“ vorgegeben hatte: „Die erste besagte, niemals eine Sache als wahr anzunehmen, von der ich nicht evidentermaßen erkenne, daß sie wahr ist: d. h. Übereilung und Vorurteile sorgfältig zu vermeiden und über nichts zu urteilen, was sich meinem Denken nicht so klar und deutlich darstellte, daß ich keinen Anlaß hätte, daran zu zweifeln.“ [DESCARTES 1637, Abschnitt II., 7–10] Diese bewusste Empfindung wurde oben als ästhetische Beobachtung bezeichnet. Den stärksten Erkenntnisgewinn kann man aus typischen Exemplaren ziehen, aus Exemplaren, deren interessierende Merkmale besonders stark ausgeprägt sind. Sie sollen typisch in der Art, also *qualitativ* typisch, nicht vom Grad der Intensität her typisch sein. An diesen – im Sinne der Statistik – nicht repräsentativen Einzelfällen kann der Blick für Eigenschaften geschärft werden, die man dann auch an Objekten mit durchschnittlich ausgeprägten Merkmalen findet.

6.8 Spiel und System

Die Suche nach bislang unbekanntem Zusammenhängen erfolgt auf Basis der Beobachtungen zunächst ungerichtet (vgl. [SCHUMANN & MÜLLER 2000, S. 5]) und spielerisch. Es werden Varianten probiert, modifiziert, verworfen, gegensätzliche Wege gegangen. Im spielerischen Vorgehen haben auch Zufälligkeiten ihren Platz, Zufälligkeiten beim Experimentieren und Zufälligkeiten in der Begegnung mit den Ergebnissen anderer. Ein anschauliches Beispiel gibt Kuhn:

„Viel Zeit verbrachte ich jedoch in jenen Jahren mit der Erkundung von Gebieten, die ohne sichtbare Beziehung zur Geschichte der Wissenschaft sind, in denen aber die Forschung neuerdings Probleme von jener Art entdeckt, auf welche mich die Geschichte lenkte. Eine Fußnote, auf die ich zufällig stieß, führte mich zu den Experimenten, mit denen Jean Piaget die verschiedenen Welten des heranwachsenden Kindes und den Prozeß des Überganges von der einen in die andere durchleuchtete. Einer meiner Kollegen veranlaßte mich, Abhandlungen über die Psychologie der Wahrnehmung, besonders der Gestalt-Psychologie, zu lesen; ein anderer machte mich mit B. L. Whorfs Spekulationen über die Wirkung der Sprache auf die Weltauffassung bekannt; und W. V. O. Quine eröffnete mir die philosophischen Rätsel der Unterscheidung von analytisch und synthetisch. Nur durch diese Art einer zufallsbedingten Forschung, wie sie die ‚Society of Fellows‘ gestattet, konnte ich auf Ludwik Flecks fast unbekanntes Monographie stoßen, eine Arbeit, die viele meiner eigenen Gedanken vorwegnimmt.“ [KUHN 1962, S. 8]

Diese zufälligen, nach keinem vorher entworfenen Plan gemachten Beobachtungen hängen noch gar nicht nach einem sichtbaren Gesetz zusammen, welches erst gesucht wird. Allerdings entsteht erst durch systematische Variation einer größtmöglichen Vielfalt von Parametern eines begrenzten Phänomenfeldes (statt eines schnellen Durchgangs durch die Phase der Ideenfindung zur dann notwendigen Verifizierung) eine gedankliche Verbindung zwischen Beobachtungen – nicht zufällig, sondern mit Notwendigkeit. Für eine umfassende Begriffsbildung ist die Vielfalt des Erscheinungsfeldes systematisch zu untersuchen.

Im Erkennen kommt dem Begriff sowie den hier dargestellten Grundzügen die Doppelrolle von Vorgabe und Freilassung zu.⁷³ Begriffe sind Regeln, die in freier Auslegung zielführend sind. Der jeweils gesuchte Begriff ist durch Ausrichtung der Blickrichtung Vorgabe; sein fortwährendes Infragestellen durch hinzukommende Erfahrungen löst die Vorgabe wiederum auf. Diese zufälligen, nach keinem vorher entworfenen Plan gemachten Beobachtungen hängen noch gar nicht nach einem sichtbaren Gesetz zusammen, welches die Vernunft sucht und bedarf.⁷⁴

Will man den zielgerichteten und doch freilassend offenen Charakter der spielerischen Vorgehensweise herausheben, so könnte man das auch mit einer Gegenüberstellung zu allem Maschinenhaften, zu allen formalen Anwendungen mechanistischer Abläufe tun und sich für den Ausdruck des Schöpferischen der bekannten Worte Friedrich Schillers bedienen: Der Mensch spielt nur, wo er in voller Bedeutung des Wortes Mensch ist, und er ist nur da ganz Mensch, wo er

⁷³ M. Bockemühl spricht treffend von Begriffen als Betrachtungshorizonten [BOCKEMÜHL, J. 1982].

⁷⁴ Anspielung auf Kant, der dafür hielt, nach logischen Kriterien a priori ausgedachte Hypothesen im Experiment zu bestätigen [KANT 1775, Vorwort B XIII]. Erfahrungsbasierte Begriffsbildung und wissenschaftliches Hypothesentesten unterscheiden sich im Umfang dieser Ideenfindungsphase: Letztere endet, wenn sich ein Hinweis zur Formulierung einer Hypothese ergibt.

spielt. [SCHILLER 1795] Auch wenn Schiller etwas anderes mit diesen Worten auszudrücken beabsichtigte, sind sie geeignet, das Spielerische als eine allein dem Menschen mögliche Verhaltensweise zu charakterisieren. Spiel ist weder Festhalten an algorithmisch vorgegebenen Abläufen noch vollständige Auflösung jeder Regel. Spiel hat klare Regeln und ist deren lebendige Anwendung.

6.9 Wiederholungen

Die Anleitung von Moritz & Hofmann-Wellenhof zum Lesen ihres Buches [MORITZ & HOFMANN-WELLENHOF 1993, S. VI] stimmen mit meinen Beobachtungen überein. Sie schreiben an ihre Leser gerichtet sinngemäß: Wenn Sie etwas nicht verstehen, halten Sie sich nicht zu lange an zunächst unverständlichen Details auf, sondern lesen weiter, um das große Ganze zu verstehen. Lesen Sie die zunächst unverständliche Passage später noch einmal. Am Bekanntesten ist die Erfahrung einer sich ständig erweiternden Erkenntnis von der wiederholten oder ausdauernden Betrachtung eines Kunstwerkes. Egal, ob es sich um die Natur, einen Prosatext, ein Gemälde oder ein Musikstück handelt, wiederholte Wahrnehmung führt zu neuen Erfahrungen und Erkenntnissen. Der Gedanke, dass wiederholtes Lesen neue Erkenntnisse ermöglicht, findet sich auch in der Geselligkeitstheorie (1799) bei Friedrich Schleiermacher (1768–1834).⁷⁵ Darin unterscheidet sich die intuitionsorientierte Arbeitsweise von einer mathematisch-logischen: Wiederholte Beobachtungen können zu neuen Einsichten führen.

6.10 Alternative Sichtweisen

Der Begriffsbildung ist es förderlich, verschiedene Aspekte einer Sache nebeneinander im Bewusstsein zu bewahren.⁷⁶ Unterschiedliche begriffliche Bestimmungen (Wahrnehmungsurteile) schließen sich nicht aus, sondern ergänzen sich und bereichern so das Wissen. Der Maßstab, ob eine Sichtweise Gültigkeit besitzt, ist die Vereinbarkeit mit Beobachtungen. Auch die vorsätzliche Suche nach einem Gegenbeispiel (Falsifikationismus) kann die Begriffsbildung voranbringen. Für das Verständnis von Abläufen ist auch die gedankliche Umkehrung der gewohnten zeitlichen Abfolge empfehlenswert. Mit ihr kann eher ein Sinn eines Ereignisses erfahren werden, während die übliche Abfolge Wirkungsketten zeigt.

6.11 Künstlerische Darstellung

Die Absicht, eine unbefangene Erkenntnis zu ermöglichen, kann sich neben dem Verzicht auf definitorische Begriffe auch im Stil der Abhandlung niederschlagen. So fördert eine Adjektive bevorzugende, prosaische Sprache die Offenheit für eine Vielfalt an Interpretationen wie sie künstlerischer Tätigkeit eigen ist. Eine prosaische Sprache stellt nicht fest, wie es das substantivische Prädikatsnomen tut; Beispiel: „Das ist eine Maschine.“ Solange der Erkenntnisprozess nicht durch eine abschließende Feststellung beendet wird, ist das Ergebnis im Fluss. Um entscheiden und handeln zu können, bedarf es der Urteile. Das feststellende Urteil bricht die während der Beobachtung und der Diskussion offene Ideenentwicklung ab. Anders formuliert: Die Wirklichkeit wirkt – bis wir urteilen. Definitionen stehen daher am Ende einer Begriffsentwicklung.

Die Darstellung der Beobachtungen (Fakten) ist von den aus ihr gezogenen Schlüssen zu trennen. Stilistisch gesehen würde ein Forschungsbericht ein wieder verwendbares prosaisches, mit anderen künstlerischen Ausdrucksmitteln bereichertes Protokoll der beobachteten Phänomene und einen befristet geltenden Teil mit Feststellungen, Schlussfolgerungen, zahlreichen semantischen Querverbindungen und offen gebliebenen Fragen beinhalten müssen.

⁷⁵ Diesen Hinweis verdanke ich der oben genannten Vorlesung von N. Fuchsloch vom 27.11. 2001.

⁷⁶ Jørgensen & Müller leiten aus der Unzulänglichkeit einer einzelnen Betrachtungsweise das Phänomen insgesamt zu beschreiben ebenfalls einen pluralistischen Ansatz ab. [JØRGENSEN & MÜLLER 2000]

In Abbildungen und Beschreibungen mit Dokumentationscharakter soll die Wirklichkeit in Hinsicht auf die relevanten Merkmale erfahrbar sein, wie sie vor einer begrifflichen Interpretation erlebt werden könnte. Anzustreben sind also künstlerisch-authentische Darstellungen. A. von Humboldts „Kosmos“ (1845–1862) kann als Beispiel einer phänomenologischen Darstellung angesehen werden, in der Natur auch in der Beschreibung noch sinnlich erlebt werden kann. Von Humboldt arbeitete nach dem Maßstab: „Ein Buch von der Natur muss den Eindruck wie die Natur selbst hervorbringen.“⁷⁷

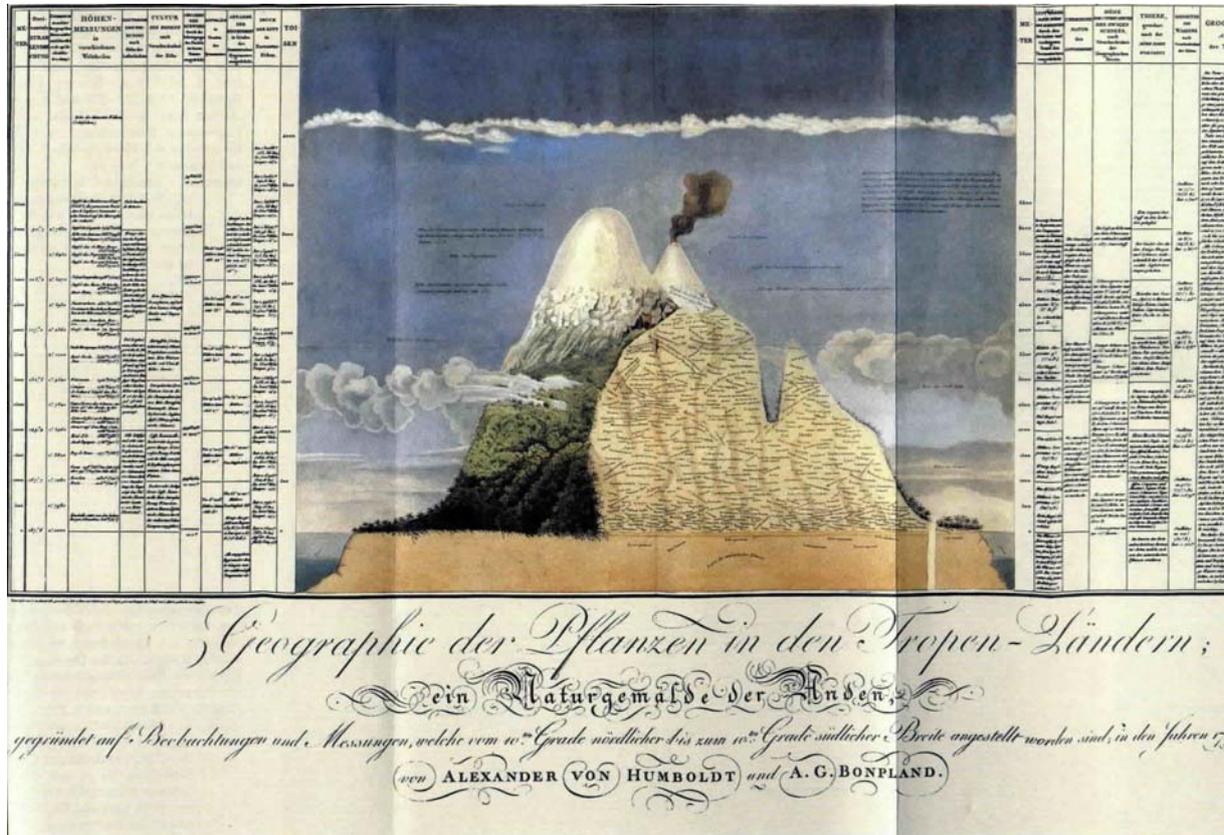


Abbildung 31 Alexander von Humboldt (1769–1859): „Geographie der Pflanzen in den Tropen-Ländern – ein Naturgemälde der Anden; gegründet auf Beobachtungen und Messungen, welche vom 10. ° nördlicher bis zum 10. Grade südlicher Breite angestellt worden sind, in den Jahren 1791–1795“ Von Humboldts „Kosmos – Entwurf einer physischen Weltbeschreibung“ gilt als Musterbeispiel wissenschaftlich-künstlerischer Abbildungen und Beschreibungen. Die Abbildungen sind nicht realistisch im Sinne einer Fotografie, sie machen den Charakter des Abgebildeten sinnlich erfahrbar. Mit der über die realistische Abbildung hinausgehenden Zuspitzung wie es hätte sein können wird der Charakter der abgebildeten Landschaft besser sichtbar. An Varnhagen von Ense, der ihn bei der sprachlichen Gestaltung beraten sollte, schrieb er 1834: „Ich habe den tollen Einfall, die ganze materielle Welt, alles, was wir heute von den Erscheinungen der Himmelsräume und des Erdenlebens, von den Nebelsternen bis zur Geographie der Mose auf den Granitfelsen wissen, alles in einem Werke darzustellen, und in einem Werke, das zugleich in lebendiger Sprache anregt und das Gemüt ergötzt.“⁷⁸ Der „Kosmos“ ist ein fünfbändiges Werk des deutschen Universalgelehrten Alexander von Humboldt, in welchem er dem Leser eine Gesamtschau der wissenschaftlichen Welterforschung zu vermitteln suchte, „die Erscheinung der körperlichen Dinge in ihrem Zusammenhange, die Natur als durch innere Kräfte bewegtes und belebtes Ganzes“⁷⁹. Die Bände erschienen 1845 bis 1862. Der fünfte und letzte Band ist Fragment geblieben und wurde erst posthum veröffentlicht. (Quelle http://handschriften.staatsbibliothek-berlin.de/humboldt/html/seite_22.html, 10.01. 2007)

⁷⁷ Zitiert nach Orzessek 2004; Quelle: <http://www.dradio.de/dlr/sendungen/feuilleton/313830>, 22.10. 2004

⁷⁸ Zitiert nach http://handschriften.staatsbibliothek-berlin.de/humboldt/html/seite_23.html

⁷⁹ Zitiert nach: Leitner U. 1995 „Das Leben eines Literaten, das sind seine Werke“ – Alexander von Humboldt. Berlin: *Berliner Manuskripte zur Alexander-von-Humboldt-Forschung* 10

6.12 Verzicht auf spekulative Modelle

Zur Vermeidung von Vermutungswissen ist in der Begriffsbildung nicht nach hinter den Erscheinungen liegenden Ursachen, sondern nach den beobachtbaren Bedingungen zu fragen, die in einem gegebenen Erscheinungszusammenhang wirksam sind. Die beobachteten Phänomene sind mit dem Auffinden ihrer gesetzmäßigen Erscheinungszusammenhänge vollständig erläutert. Strukturen werden aus den Bedingungen, unter denen sie gebildet werden, unterschieden nach notwendigen und modifizierenden Bedingungen, erklärt. Mit dem Vokabular der Selbstorganisation könnte man sagen, die Erscheinungen „emergieren“ aus den.

Nach hinter den Erscheinungen liegenden Ursachen wird nicht gesucht. Die begriffliche Interpretation beschränkt sich auf den Zusammenhang von beobachtbaren Ereignissen. (Beispiel: Wird bei einem mit kleiner Auslenkung schwingenden Pendel die Länge des Pendels vergrößert, verlängert sich die Schwingungsdauer.) Schon in der Beschreibung des Phänomenfeldes soll auf nicht unmittelbar beobachtbare Schlüsse verzichtet werden und es sollen ausschließlich Beobachtungsgrößen verbunden werden. Ideal würde der Verzicht auf Non-Observable in einer Beschreibung der Untersuchung umgesetzt, in der das gedankliche Ergebnis überhaupt nicht ausgesprochen ist.

Modellfreiheit in diesem Sinne heißt jedoch nicht: „Verzicht auf Hypothesen überhaupt“⁸⁰. Beispielsweise ist es durchaus modellfrei, wenn zwischen den beobachtbaren Größen A und B zunächst ein Zusammenhang in Form der Sinusfunktion hypothetisch vermutet würde, um ihn später zu verifizieren. Die Bestätigung hypothetischer gedanklicher Zusammenhänge darf jedoch nicht allein auf Schlussfolgerungen beruhen. Aber „modellfrei“ bedeutet einen Verzicht auf Analogiebildung: Die andernorts gemachten Erfahrungen werden nicht zur Interpretation der aktuellen Objekte genutzt.

Die Einfügung von Begriffen, die nicht durch Beobachtung verifiziert werden können, ist für die Bestimmung, was etwas ist, überflüssig, da sie von der Erfahrungswelt zur Spekulation führt.⁸¹ Auf eine Objektivierung einzelner Größen im Sinne einer ontologischen Fixierung unabhängig von den Bedingungen ihrer Beobachtbarkeit wird verzichtet.⁸²

Der Verzicht auf die Einführung nicht beobachtbarer Ursachen entspricht nach [GOSZTONYI 1976, S. 563 und 593] der Auffassung, die Mach (1838–1916) vertrat und welche auch zumindest dem Anspruch nach von Lorentz und Einstein übernommen worden sein soll.

Es stellt sich allerdings die Frage, ob beispielsweise die Rechteckform eines seitlich beobachteten Tisches bereits eine unzulässige Non-Observable ist, da der Tisch nicht als Rechteck gesehen wird. Hier ist mit dem Verzicht auf spekulative Modelle und nicht beobachtbare Begriffe gesagt, dass der gedankliche Zusammenhang unmittelbar in einer Erfahrung oder einem Experiment auftreten soll. Der Gedanke „zentralperspektive Abbildung eines rechteckigen Tisches“ verbindet unmittelbare Beobachtungen.

Anmerkung: Es wäre sehr unpraktisch, die Begriffsbildung jedes Mal bei den unmittelbaren Beobachtungen (nicht interpretierten Sinnesempfindungen) zu beginnen. Aber die einer Untersuchung zugrunde liegenden Voraussetzungen müssen offensichtlich sein oder explizit ausgewiesen werden, um das Ergebnis sachgerecht werten zu können.

⁸⁰ Wie von Mikelskis (2005. Beugung und Sprache. Vortrag am 6.9. 2005, Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin) behauptet.

⁸¹ Das heißt nicht, dass nicht beobachtbare Hilfsvorstellungen nicht andernorts ihre Berechtigung hätten, beispielsweise für die Entwicklung von Technik: Der zwischen den erdachten Hilfsvorstellungen und den Wahrnehmungselementen bestehende Zusammenhang kann die Möglichkeit der Vorhersage oder der technischen Simulation bieten, worin bekanntlich ihre Fruchtbarkeit besteht.

⁸² Vgl. <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/index.html>, 3.9. 2005.

6.13 Exploratives Experimentieren

In einer vergleichenden Studie über die Art des Experimentierens bei Newton und Goethe unter Einbezug weiterer exponierter Physiker der Wissenschaftsgeschichte gelangt Steinle zu bemerkenswerten Ergebnissen, die wegen ihrer Nachbarschaft⁸³ zu der hier vorgeschlagenen Arbeitsweise von Interesse sind. Gekürzt und die historischen Bezüge weglassend können die Ergebnisse von Steinle folgendermaßen zusammenfassend wiedergegeben werden [STEINLE 2002]: Newton stellt in seinem ersten Aufsatz zu Licht und Farben, dem Brief an die Royal Society von 1672, ein einziges Experiment in den Mittelpunkt. Der Verweis auf dieses Experiment dient ihm als *Nachweis* seiner Farbtheorie.⁸⁴ Der Text ist „auf seine Leserschaft hin konstruiert und hatte wenig mit dem tatsächlichen Laborgeschehen zu tun“. [ebenda] Goethe, dessen wissenschaftliche Arbeitsweise häufig in Opposition zu Newton dargestellt wird, begründet seine Farbenlehre durch eine hundertfache Variation verschiedenster Parameter des experimentellen Aufbaus (der derselbe gewesen sei wie bei Newton). Sein Ziel ist das Sichtbar-werden-lassen eines Ordnungssystems innerhalb des Erscheinungsfeldes bei dem Leser der Farbenlehre gewesen. Steinle zeigt, dass Newton und Goethe als Exponenten geradezu gegensätzlicher Forschungsweisen gelten können, die beide ihre Berechtigung und ihre prominenten, also erfolgreichen, Vertreter haben und zwischen denen ineinander übergehende Abstufungen praktiziert worden sind, wie allerdings mehr die Tagebücher als die „Papers“ zeigten (These 21). Die logisch aufgebauten Publikationen dienen der Kommunikation, nicht dem Entdecken, wie schon Descartes wusste: „[...] Bei ihrer Prüfung fiel mir jedoch auf, daß – was die Logik betrifft – ihre Syllogismen und die meisten anderen Vorschriften vielmehr dazu dienen, etwas zu erklären, was man weiß [...] als es zu entdecken.“ [DESCARTES 1637, II–6] Versucht man, die Unterschiede an den Polen kenntlich zu machen, kann die Bedeutung des Experimentes in dem einen Fall als Nachweis für eine Theorie und im anderen als das Auffinden allgemeiner Gesetzmäßigkeiten charakterisiert werden. Letztere kennzeichnet Steinle durch folgende wesentliche Richtlinien:

- „Systematisches Variieren einer großen Zahl verschiedener experimenteller Parameter,
- Aufstellen stabiler empirischer Regeln, typischerweise in der Form ‚Wenn bestimmte Bedingungen vorliegen, dann tritt auch ein bestimmtes Phänomen ein‘,
- Ermitteln, welche experimentellen Bedingungen unerlässlich für das Auftreten des in Rede stehenden Effektes sind und welche den Effekt nur modifizieren“ sowie
- die Beobachtungen werden so angeordnet, dass eine Tatsache immer die andere erklärt, damit man aus den Sinnesempfindungen heraus intuitiv zur Einsicht in den Zusammenhang gelangt.

Bei Steinle kommen noch zwei Merkmale hinzu, die insbesondere für die Kommunikation wichtig sind: Auffinden oder Entwickeln von angemessenen Darstellungssystemen, mit deren Hilfe sich die Regeln möglichst allgemein formulieren lassen und Entwickeln experimenteller Anordnungen, die nur noch die für den Effekt unerlässlichen Bedingungen enthalten und damit die allgemeine Regel in besonderer Klarheit zum Ausdruck bringen. Solche Anordnungen dienen als Kernpunkte, auf die eine Vielzahl von Erscheinungen in phänomenologischer Weise reduziert werden kann.

⁸³ Eine Nachbarschaft ergibt sich natürlich schon durch die von mir verwendeten Zitate aus dem Bereich goetheanistischer Forschung oder auf Goethe selbst. Ich habe die Zitate allerdings nicht wegen des Bezugs zu Goethe aufgenommen, sondern, um deutlich zu machen, dass andere Autoren in anderen Zusammenhängen zu denselben Ergebnissen gekommen sind. Welche Zusammenhänge das im Einzelnen sind, ergibt sich aus dem Titel der entsprechenden Veröffentlichung.

⁸⁴ Die Abhängigkeit der Gültigkeit oder Ungültigkeit einer Theorie vom Experiment wird auch in der Geodäsie vertreten. Vgl. dazu [HEITZ, S. & E. STÖCKER-MEIER 1994, S. 21]: „Alle physikalischen Theorien stehen und fallen mit der Möglichkeit oder Unmöglichkeit ihrer experimentellen Bestätigung. Mittels einer gültigen Theorie müssen also tatsächlich beobachtbare Erscheinungen vorhersagbar sein, worunter man Raumzeitereignisse zu verstehen hat, die durch präzise definierte Beobachtungsgrößen darstellbar sind.“

Diese Richtlinien sowie weitere in [STEINLE 2002] getroffene Spezialisierungen wie der spielerische Charakter oder die Auswahl ausdrucksstarker Versuchsanordnungen finden sich in den von mir, anhand der vorgebrachten Darlegungen zur Wahrnehmung und zur Erkenntnistheorie entwickelten Grundzügen phänomen-geführter Forschung aufgehoben. Die von Steinle als „theoriegeleitet“ beziehungsweise „explorativ“ bezeichneten Pole waren bei mir als „Begriffe anwendend“ und „Begriffe entwickelnd“ oder als „wieder erkennen“ und „neu erkennen“ herausgearbeitet worden.

In Steinles Ausführungen ist auch bemerkenswert, dass er zeigt, dass exploratives Arbeiten in der Physik an bestimmte epistemische Konstellationen geknüpft ist: „In all den genannten Fällen wurden Effekte oder Probleme untersucht, zu deren Behandlung keine wohlgeformte Theorie oder nicht einmal eine als verlässlich angesehene Begrifflichkeit zur Verfügung stand.“⁸⁵ Die begriffliche Bestimmung ist die Frage nach dem Was, provokativer: nach dem Wesen einer Sache. Die Entwicklung von Begriffen ist offensichtlich nicht nur Gegenstand der Geisteswissenschaften, sondern auch der Naturwissenschaften, nämlich dann, wenn die vorhandenen Begriffe infrage gestellt und einer Revision geöffnet werden.⁸⁶

Steinle [STEINLE 2002] führte weiterhin aus, dass in der naturwissenschaftlichen Physik explorativ gearbeitet wurde, solange sich die Forschung im Pionierstadium befindet. Ribe & Steinle weisen in [RIBE & STEINLE 2002] darauf hin, dass die Entscheidung, ob explorative Erkundung oder theoriegeführtes Experimentieren ergebnisreicher ist, insbesondere davon abhängt, was der Forscher sucht: ein tieferes Verständnis eines komplexen Zusammenhanges oder die Bestätigung eines direkten Zusammenhanges einer überschaubaren Zahl von Faktoren. Damit ist das Anwendungsfeld für die hier entwickelte Methode aufgezeigt: Wer die Erklärung von Phänomenen durch Rückgriff auf hinter der Erscheinungsebene liegende, mikroskopische Entitäten als neuzeitliche Metaphysik ablehnt, der muss zur Kenntnis nehmen, dass erst ein geringer Teil der uns umgebenden Phänomene ohne Rückgriff auf Non-Observable systematisch geordnet ist. Wir haben von Naturdingen kaum systematisch und phänomenologisch erarbeitete Begriffe. Im Feld der Geoinformatik wäre es beispielsweise lohnenswert, den Begriff des Raumes modellfrei zu bestimmen. Das kann nur mit explorativem Experimentieren, also im Rahmen qualitativer Forschung erfolgen.

6.14 Darstellung des gedanklichen Zusammenhanges durch Bildung von Beobachtungsreihen

In Abänderung eines von Bähr zwischen Naturwissenschaftlern und Ingenieuren ausgemachten Unterschieds [BÄHR 2003] kann man zugespitzt so formulieren: Zwischen phänomengeführter Begriffsentwicklung und modellgeführter Forschung klafft ein Graben, der viel tiefer ist, als es dem Außenstehenden erscheint. Ziel des modellgeführten Forschungsansatzes ist die Entwicklung von Modellen, mit denen Natur technisch simuliert werden kann. Dabei ist es egal, woher das Modell jeweils stammt, aus einer Intuition oder einer Analogie, und es ist sekundär, ob es auch andere Lösungen gibt, zwischen denen unterschieden werden müsste, Hauptsache das entwickelte Modell ist nutzbar. Der phänomengeführte Ansatz ist ein anderer. Er richtet sich auf Erkenntnisgewinn im Sinne von Suchen von „Wahrheit“. Wichtig ist bei ihm, dass die Naturer-

⁸⁵ Steinle bezieht sich auf Charles Dufay, 1730er Jahre, Elektrizität, Michael Faraday, Magnetfeld, David Brewster, Optik, Justus Liebig, Chemie, Hans Krebs, 1930er Jahre, Physiologie sowie im Vortrag „Exploratives Experimentieren“ am 6.9. 2005 am Institut für Physik der Humboldt-Universität zu Berlin auch auf André Marie Ampère (1775–1836, Mathematiker und Physiker) und Alexander von Humboldt (1769–1859, Naturforscher und Universalgelehrter).

⁸⁶ Wenn wir „Begriffe“ durch „Paradigmen“ ersetzen, finden wir die Brücke zu der Wissenschaftsgeschichte, wie sie Kuhn in [KUHN 1962] darstellt: Er spricht von Phasen, in denen Paradigmen entwickelt werden und Phasen, in denen die Paradigmen nicht in Frage gestellt, sondern als Dogma angesehen werden.

kundung einer der Natur immanenten Wahrheit näher kommt, und es ist nicht prioritär, ob die gefundenen Zusammenhänge einen unmittelbaren Nutzen bringen.

Naturwissenschaften bedienen sich der instrumentellen Messung und der Mathematik, um die Sicherheit des mathematischen Denkens auf ihre Gebiete auszudehnen. Der verbindende gedankliche Zusammenhang zwischen den Beobachtungen tritt als Intuition sporadisch auf. Mit dem intuitiven Einfall ist dem denkenden Subjekt ein gedanklicher Inhalt gegeben, jedoch *ohne* sein Zustandekommen so nachvollziehen zu können wie einen mathematischen Beweis. Damit bleibt die Verbindung von Erfahrung und mathematischer Interpretation der Schwachpunkt im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess, so auch [EINSTEIN 1921].

Das Ergebnis einer begriffsbildenden Untersuchung ist idealerweise eine Beobachtungsreihe: Gelingt es, die Vielfalt der Erscheinungen eines Phänomens so zu ordnen, dass sie durch Variation der wirksamen Bedingungen auseinander hervorgehen, hat man durch eine mathematisch-strenge Gedankenführung in der Naturwissenschaft eine der Mathematik adäquate Gewissheit erreicht. Der Leser verfolgt die Bildung eines bestimmten gedanklichen Zusammenhanges statt eine „vom Himmel gefallene“ Hypothese zu verifizieren.

Anknüpfend an den Mimesebegriff aus Kapitel 5 könnte man die Begriffsbildung mithilfe von Beobachtungsreihen so beschreiben: Ästhetische Betrachtung heißt, darauf zu achten, wie etwas auf mich wirkt, wie das Etwas eine seelische Regung formt. Qualität erleben bedeutet, eine Eigenschaft des Gegenstandes mit der eigenen Seele nachzuahmen. Dabei bleibt die Denkform des Objektes unbewusst. Mit der Betrachtung der Beobachtungsreihe soll bewusst werden, wie ein Gedanke geformt wird. Es wird versucht, die Funktion des Gegenstandes denkend nachzuahmen.

Die Bezüge zwischen den zusammentretenden Dingen werden ohne Hinzufügung hypothetischer Erklärungen aus der Sache selbst gedanklich *abgelesen*. Die abgeleiteten begrifflichen Beziehungen müssen nicht und können nicht mathematisch-logisch bewiesen werden, da nur die unmittelbare Anschauung selbst der letzte Grund jeder Beweisbarkeit ist (siehe Abschnitt 3.7) [SCHEURLE 1984, S. 17].⁸⁷ Diese Art Einsicht in einen Sachverhalt schließt Akzeptanz des Wissens über diesen Sachverhalt ein.

„Ein einzelner Versuch beziehungsweise eine isolierte Erscheinung für sich genommen zeigen nichts. Erst der Zusammenhang einer Reihe, d. h. einer geordneten Mannigfaltigkeit von Erscheinungen, die durch Variation der wirksamen Bedingungen auseinander hervorgehen, wird aussagekräftig: durch sich selbst und im Verhältnis zum Experimentierenden.“⁸⁸

Das Auftauchen der neuen Idee ist wie gesagt kein logisches Ableiten, sondern ein Miterleben der Gesetzmäßigkeiten. Man erfährt, dass es eine bestimmte Regelmäßigkeit gibt. Die Überzeugung beruht auf denkendem Nachahmen (Mimese) der im Erscheinungsfeld wirkenden Ordnung.

Der Grundsatz, das Resultat der Erfahrungen nicht aus der (wiederholten) Durchführung *eines* Experimentes, sondern aus einer Vielfalt inhaltlich zusammenhängender Versuche abzuleiten, ist erstmals 1798 bei Goethe in einem Brief an Schiller formuliert:

„Das reine Phänomen [das Naturgesetz – d. Verf.] steht nun zuletzt als Resultat aller Erfahrungen und Versuche da. Es kann niemals isoliert sein, sondern es zeigt sich in einer Folge der Erscheinungen. Um es darzustellen, bestimmt der menschliche Geist das empirisch Wankende, schließt das zufällige aus, sondert das Unreine, entwickelt das Verworrene, ja entdeckt das Unbekannte.“ [GOETHE 1793]

Dabei ist „nur das Nächste ans Nächste zu reihen oder vielmehr das „Nächste aus dem Nächsten zu folgen.“ [ebenda] Hier liegt der Anknüpfungspunkt an die mathematische Methode: Die

⁸⁷ Einige Autoren bezeichnen solche Beschreibungen als „modellfrei“, beispielsweise [SOMMER 2004] unter intensivem Rückgriff auf v. Mackensen, M. & H.-C. Ohlendorf 1998 Modellfreie Optik. Kassel: Pädagogische Forschungsstelle.

⁸⁸ <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/index.html>, 2.9. 2005.

Gewissheit der Mathematik ergibt sich aus den Beziehungen ihrer gedanklichen Inhalte. Lässt man sich auf Naturgesetze ein, so wird man zu derselben strengen Gedankenführung veranlasst wie in der Mathematik. Die Gewissheit der Naturgesetze offenbart sich in der Übereinstimmung der gedanklich erfassten Gesetze mit den sinnlichen Phänomenen. (Eine mathematische Modellierung des Zusammenhanges kann sich anschließen.) Die Beobachtungsreihe dient nicht nur der Kommunikation des spielerisch und explorativ gefundenen Zusammenhanges, sondern es ist dessen Extrakt: Umwege, Fehlversuche, Dopplungen der Suchphase werden in die Beobachtungsreihe nicht übernommen. Die Beobachtungsreihe ist das Ergebnis der Untersuchung.

Bei diesem Vorgehen wird der Schwerpunkt auf die Übereinstimmung der Beobachtungen mit den gedachten Zusammenhängen gelegt (statt auf die innere Stimmigkeit des Modelles, These 16.) Niemand kann sich einen Walfisch beweisen lassen, er muss die Beobachtung selber machen. Der Beobachter fügt sinnlichkeitsfreien Begriff und Erfahrung bewusst zusammen. Wissenschaftliche Abhandlungen können dann überzeugen, wenn aus den vermittelten Erfahrungen ein gedanklicher Zusammenhang gewissermaßen wie von selbst entsteht, der im besten Fall mit einem Aha-Erlebnis einhergeht. Die höchste Überzeugungskraft haben Darstellungen, die ohne explizite Angabe begrifflicher Urteile auskommen, wo sich die Begriffsinhalte beim Leser oder Hörer aus dem Nachvollzug der Beobachtungen wie von selbst ergeben. In den Beschreibungen sollen daher keine Erklärungen enthalten sein, sondern möglichst reine Erfahrungsberichte.⁸⁹

Aus der Folge der aufgereihten Experimente soll ihr begrifflicher Zusammenhang gebildet werden. Begriffe werden nicht durch den kleinsten gemeinsamen Nenner eines Erscheinungsfeldes gefunden, sondern durch das Gesetz, durch die gedankliche Regel, die zu ihnen gehört. Das macht den Unterschied zur Nominaldefinition aus, wo Aspekte herausgegriffen und mit einem Kurzwort bezeichnet werden. Empirisch fundierte Begriffe zu bilden, die das hinter einer ganzen Reihe verschiedenartiger Phänomene verbindende Gesetz erfassen, ist der Sinn der Aufreihung. Einerseits muss man über die Beobachtungen hinausgehen, Goethe spricht von „einer Erfahrung höherer Art“ [GOETHE 1793], andererseits ist der gesuchte Begriff, die zu den betreffenden Phänomenen gehörende Regel.

Der Kern des verstehenden Beobachtens kann folgendermaßen zusammengefasst werden: Sie ist das Suchen nach der Erfahrung der Einheit in der Vielfalt eines Phänomens. Ist diese gefunden, kann Unwesentliches weggelassen und das Wesentliche in einer Folge geordnet werden, bei der sich das Nächste aus dem Nächsten ergibt, wodurch der Zusammenhang sichtbar wird (These 5).

In Anlehnung an [WAGENSCHHEIN 1973] kann gesagt werden, dass das Aneinanderreihen die kreative und kritische Wiederentdeckung des Wissens von Anfang an und unter Führung ermöglicht. Durch die genetische⁹⁰ Darstellung können die Zusammenhänge des Phänomenfeldes verstanden werden. Noch genauer spricht Wagenschein davon, dass die genetische Gedankenfolge einsehen lässt, warum ein Zusammenhang in einer bestimmten Weise bestehen *muss* und nicht nur wissen lässt, dass es so zusammenhängen *kann*. [WAGENSCHHEIN 1967] Die Beschreibungen der Beobachtungen können auf diese Weise zu einer Wegleitung werden, mit deren Hilfe der Weg nachvollzogen werden kann, der zu einem einsehbaren Urteil führt. Diese Vorgehensweise ist für eine Kommunikation über Dinge aus dem nicht mathematischen und nicht technischen Bereich von großer Bedeutung, da die begrifflichen Inhalte von Naturdingen in der Regel individuell durch ein biografisch bedingtes Erleben der Erscheinungswelt geprägt sind.

⁸⁹ Da es andererseits nicht der Inhalt einer wissenschaftlichen Abhandlung sein kann, alle Erfahrungen in der Intensität zu beschreiben, bis der Leser oder die Leserin zu denselben Gedanken inspiriert wird, muss ein Mittelweg gefunden werden: Die zugrunde liegenden maßgeblichen Erfahrungen und Darstellung des daraus gebildeten begrifflichen Zusammenhanges bzw. das eigenständige Durchführen der geordneten Versuche müssen bündig beschrieben werden.

⁹⁰ „Genetisch“ darf nicht mit „historisch“, geistesgeschichtlich, verwechselt werden.

Die Bildung von Beobachtungsreihen ermöglicht Lernen durch Einsicht. Das Situationsgefüge wird denkend erfasst und strukturiert, bis sich die Elemente (oft plötzlich) zu einem sinnvollen Ganzen zusammenfügen (Aha-Erlebnis). Dabei ist es charakteristisch, dass die Einsicht plötzlich auftritt und originell ist. Klassisches Beispiel dieser Vorgehensweise ist Goethes Farbenlehre. In hunderten Experimenten und Variationen wird der Zusammenhang von Licht, Dunkelheit und Farben deutlich. Dabei wird auch der Vorteil der phänomenologischen Herangehensweise deutlich: Später hinzukommende Experimente, wie jene von Land [LAND 1959] stoßen nicht eine gesamte Theorie um, wie es kurzzeitig für die additive Dreifarbmischung aussah, sondern passen in das Konzept ohne revolutionäre Umwälzungen. Ein anderes Beispiel sind die von Locher-Ernst gegebenen geometrischen Übungen [LOCHER-ERNST 1937], die zur Einsicht in die Gesetzmäßigkeiten der projektiven Geometrie führen.⁹¹ Das Erlebnis ist das Gleiche: Aus einer Vielzahl zunächst zusammenhanglos erscheinender Tatsachen emergiert nach eingehender Beschäftigung der begriffliche Zusammenhang.

6.15 Die Überwindung der Paradigmen

Relativitätstheorie und Quantenmechanik bestätigten auf radikale Weise die Gültigkeit der These Kants, dass es sich bei der von der Physik beschriebenen Natur nicht um die Natur an sich handle, sondern um das Verhältnis des Menschen zur Natur, also um die Natur, wie sie sich dem Menschen in der Form seines Fragens zeigt: Die wissenschaftliche Erkenntnis ist ein Produkt menschlicher Interpretation, die variabel und kreativ sein kann. Erst der Akt der Beobachtung produziert jene Wirklichkeit, die die Wissenschaft zu erklären versucht. Dieser Schluss wurde in jüngster Zeit von einer kritischen, vor allem von den Arbeiten Poppers und Kuhns beeinflussten Philosophie untermauert [TARNAS 1991, S. 453–455]. Popper, der sich auf die Einsichten Humes (1711–1776)⁹² und Kants stützte, verwies darauf, dass die Wissenschaft niemals Wissen hervorbringen könne, das sicher sei. Ohne riskante Vermutungen könne er sich der Welt gar nicht nähern, weil jede beobachtete Tatsache immer schon einen interpretierenden Fokus voraussetze. In der Wissenschaft müssten diese Mutmaßungen allerdings kontinuierlich und systematisch überprüft werden. Eine weitere Überprüfung könne sie jederzeit als falsch erweisen. Keine wissenschaftliche Wahrheit wäre gegen diese Möglichkeit immun. [POPPER 1935] Popper bewahrte die wissenschaftliche Rationalität, indem er auf ihrer grundsätzlichen Verpflichtung zur rigorosen Überprüfung jeglicher Theorie und ihrer furchtlosen Neutralität bei der Suche nach Wahrheit bestand. Kuhn stimmte Popper zwar zu, dass alles wissenschaftliche Wissen Interpretationen voraussetze, die auf grundlegenden Paradigmen oder begrifflichen Modellen beruhten. Nur so wäre es dem Forscher möglich, Daten zu isolieren, Theorien zu entwickeln oder Probleme zu lösen. Kuhn gelangte jedoch anhand vieler Beispiele aus der Wissenschaftsgeschichte zu dem Schluss, dass die tatsächliche Praxis der Wissenschaftler nur selten mit Poppers Ideal übereinstimmte. Stattdessen wäre die Vorgehensweise der Wissenschaft von dem angestrebten Bemühen gekennzeichnet, das herrschende Paradigma zu bestätigen – Fakten im Lichte der Theorie zu sammeln, Experimente auf ihrer Grundlage vorzunehmen, ihre Anwendungsmöglichkeiten zu erweitern, ihre Struktur zu verfeinern oder zu versuchen, verbliebene Probleme zu lösen [KUHN 1962], [TARNAS 1991, S. 454]. Mit der ästhetischen Betrachtung kann entgegen Popper und Kuhn sehr wohl ohne voraussetzende Begriffe und Interpretationen wissenschaftlichen Maßstäben entsprechend gearbeitet werden. Bei der notwendigen Entfaltung der Begriffe werden dann allerdings sehr wohl erreichte Ergebnisse vorausgesetzt. Dies kann sich von der üblichen For-

⁹¹ Seite 3 f. beispielsweise macht einsichtig, dass zwei parallele Geraden durch einen und nur einen unendlich fernen Punkt laufen.

⁹² Wie Hume überzeugend dargestellt hat, können Kategorien wie Substanz und Kausalität nicht wahrgenommen werden. Ein innerer Zwang führe dazu, „anzunehmen, dass es Substanz und Kausalität gebe. Wer dies aber verabsolutiert, behaupte mehr zu wissen, als er wissen kann.“ [HUME 1739]

schungspraxis darin unterscheiden, dass von der Einführung nicht beobachtbarer Ursachen abgesehen wird. Aus den Beobachtungen wird sehr wohl der gedankliche Zusammenhang bestimmt. Dieser entwickelt sich jedoch nicht zu einem Selbstläufer, der weitere Gedankenkonstrukte hervorbringt. An die Stelle von Verifikation und Falsifikation tritt die möglichst umfassende Beobachtung. Man versuche nicht schnell einen gedanklichen Zusammenhang zu finden, der dann geprüft wird, sondern arbeite bis zum Schluss ohne festlegende Definitionen und mit der ständigen Erwartung, neue Erfahrungen zu gewinnen. Dynamische Begriffe und veränderliche Beobachtungen bestimmen die Begriffsbildung. Auf diese Weise kann die Vorherrschaft der Paradigmen überwunden werden. Das Prinzip, sich fortwährend (neu) zu organisieren, kurz „Selbstorganisation“ genannt, bedeutet somit das Ende der Paradigmen: Man setzt keine Paradigmen oder Begriffe über die Erfahrung, sondern passt sie – nicht erst in großen Abständen (nicht erst zu Zeiten von Kuhns Paradigmenwechseln), sondern fortwährend – an aktuelle Erfahrungen an: Wissenschaft als fortwährende Begriffsentwicklung.

6.16 Genügt diese Methode wissenschaftlichen Ansprüchen?⁹³

Will man, wie es das neuzeitliche Primat der Erfahrung streng genommen fordert, die gedanklichen Vorbestimmungen, also Paradigmen und Begriffe, nicht als gottgegeben hinnehmen, sondern der eigenen kritischen Erwägung unterziehen, können im Wissenschaftsprozess Phasen mit unterschiedlichen Erkenntniszielen unterschieden werden: die Bildung von Begriffen einerseits und die Entwicklung von Theorien und Modellen andererseits auf Grundlage dieser Begriffe. Mit den Worten von Kant [KANT 1787, S. B XIIV] unterscheidet sich die Attitüde des Wissenschaftlers: In der Phase der Begriffsbildung verhält er sich „wie ein Schüler, der sich alles vorsagen lässt, was der Lehrer will“ und in der Phase der Modellbildung wie „ein bestallter Richter, der die Zeugen nötigt, auf die Fragen zu antworten, die er ihnen vorlegt.“ Für den Bereich der Technikwissenschaften ist die zweite Phase typisch: Ausgehend von festgelegten Begriffen werden Forschungsfragen formuliert, hypothetische Modelle entwickelt und diese dann verifiziert. Obgleich mit den begrifflichen Grundlagen der potenzielle Lösungsraum ein- und andere Sichtweisen oder Aspekte ausgegrenzt werden, stehen jene Begriffe, mit denen die wissenschaftlichen Fragen gestellt und bearbeitet werden, selbst nicht zur Disposition, sondern werden – meist ebenso stillschweigend wie willkürlich – aus einem Alltagsverständnis, der Philosophie, der individuellen Vorbildung oder aus einer fachgemeinschaftlichen Vereinbarung übernommen und einer wissenschaftlichen Arbeit in Form von Definitionen vorangestellt.

Ist das wissenschaftlich? Obwohl es erstaunlicherweise dafür keine definitiven Kriterien gibt⁹⁴, lassen sich einige angeben. Ein weithin akzeptierter Maßstab wissenschaftlichen Arbeitens ist die Verifizierbarkeit von Aussagen. Damit verbindet sich die Forderung nach personenunabhängigen und wiederholbaren Untersuchungsbedingungen. Wenn sich ästhetische Aussagen – wie von Schiemann behauptet⁹⁵ – solchen empirischen Überprüfungen entzögen, dürften sie nach allgemeiner Auffassung in der Naturforschung keine Rolle spielen. Dieser Argumentation steht Folgendes entgegen: Setzen wir das auf das Erleben der Wirklichkeit gerichtete Sinnes-Empfinden mit ästhetischer Beobachtung gleich, sind alle verwendeten Prädikate (Eigenschaften) auf beobachtbare Grundprädikate zurückzuführen, deren Zutreffen durch jedermann festgestellt werden

⁹³ Bei meinem Besuch der Tagung „open eyes 2005“ zur modellfreien Optik habe ich den Eindruck gewonnen, dass die Wissenschaftlichkeit phänomenologischer Forschung vollkommen außer Frage steht, bei allen, die sich mit naturwissenschaftlichen Forschungsmethoden beschäftigen haben. Auch die Kritik Poppers ist ebenso überflüssig. Dieser Abschnitt ist von daher eigentlich verzichtbar.

⁹⁴ Schiemann sieht die Ursache für den Mangel an normativen Bestimmungen der Wissenschaftlichkeit in der Mannigfaltigkeit der realen naturwissenschaftlichen Forschungsfelder. [SCHIEMANN 1997]

⁹⁵ [SCHIEMANN 1997, S. 216]: „Obwohl die Einwände, die gegen das Programm eines methodisch begründeten Erfahrungswissens erhoben wurden, zu vielerlei Modifikationen geführt haben, konnten die entscheidenden Bedenken nicht ausgeräumt werden.“

kann: Ein Schmerz löst kein Wohlbefinden aus, ein helles Rot nicht die Empfindung eines dunklen Grüns. Aussagen, die sich auf Sinnes-Empfindungen beziehen, sind intersubjektiv verifizierbar. Die Ergebnisse ästhetischer Beobachtung sind also überprüfbar. Dass unter Umständen persönliche Voraussetzungen wie geschultes Wahrnehmungsvermögen vorausgesetzt werden müssen, unterscheidet diese Methode nicht vom Lesen eines Lehrbuches. Auch dort müssen mehr oder weniger umfangreiche Kenntnisse und Fähigkeiten vorausgesetzt werden, um den Inhalt zu verstehen.

Auf Popper gehen grundlegende philosophische und wissenschaftstheoretische Auseinandersetzungen mit dem Wissenschaftsbegriff im 20. Jahrhundert zurück. Der Mitbegründer des kritischen Rationalismus zeigt in seinem 1935 erschienenem Fundamentalwerk „Logik der Forschung“, dass wissenschaftliche Theorien – in seinem Sprachgebrauch als „hypothetische Vermutungen“ bezeichnet – niemals induktiv, d. h. durch Verallgemeinerung gewonnen werden können, da keine einzige allgemeine Hypothese endgültig verifizierbar ist. Statt von Wissen im Sinne von Gewissheit redet er von Vermutungswissen oder Theorien. Er schlägt vor, wissenschaftliche Hypothesen dadurch auszuzeichnen, dass sie falsifizierbar sind. Nach ihm bestehe die Suche nach wissenschaftlicher Erkenntnis darin, mögliche Fehler und Irrtümer aufzudecken und auszuschließen. Für Popper sind dann solche Hypothesen unwissenschaftlich bzw. pseudowissenschaftlich, die nicht falsifiziert werden können, d. h., die keine empirisch prüfbaren Konsequenzen haben. Der ständige Zweifel, der zu immer neuen Versuchen der Falsifikation führt, sei verbunden mit der Bereitschaft zur ständigen kritischen Überprüfung und gegebenenfalls Verwerfung der Hypothesen. Dieser Zweifel sei das entscheidende Kriterium der Wissenschaftlichkeit. [POPPER 1935] Einer der wichtigsten Beiträge der von Popper mit diesem Buch angestoßenen Diskussion kam von Kuhn. Kuhn zeigte indes, dass in der Wissenschaftsgeschichte die meisten Theorien sehr wohl falsifiziert seien, aber trotzdem von den Wissenschaftlern anerkannt wurden, weil sie mit dem aktuellen Wissenschaftsparadigma konform seien. [KUHN 1962] Summa summarum führt der heute allgemein gebräuchliche Erkenntnisprozess empirischer Wissenschaften zu Theorien als „nicht berechenbare Beschreibungen eines Kausalitätskontextes“, die einer ganzen Reihe von Kriterien genügen müssen: Passfähigkeit mit den beobachteten zugrunde liegenden Fakten, Zirkelfreiheit, interne und externe Konsistenz, Prognosefähigkeit, Anwendbarkeit auf Einzelfälle [MÜLLER 1997]. Jørgensen & Müller beschreiben Theorien als Sätze von Hypothesen, die geprüftes und anwendbares Wissen auf hohem Abstraktionsgrad vereinigen und konkrete Phänomene schlüssig durch theoriebasierte Zusammenhänge zu erklären gestatten [JØRGENSEN & MÜLLER 2000, S. 110]. Daneben gibt es weitere wünschenswerte Eigenschaften wie Allgemeinheit, Tiefe, Genauigkeit, Einfachheit, Anschaulichkeit, Prognosefähigkeit, Reproduzierbarkeit der beschriebenen, erklärten sowie vorausgesagten Phänomene und Fruchtbarkeit, d. h. weitere Forschung anregend [KÄMPFER 2000]. Eine Beweisbarkeit wird selbstverständlich nicht gefordert. (These 16)

Die phänomenologisch-ästhetische Methode ist verifizierbar, sie liefert prognostizierbare Ergebnisse, sie ist anwendbar auf Einzelfälle und konsistent. Obwohl ihre Ergebnisse intuitiv gewonnene Einsichten sind (dass sich die Erfahrungswelt auf diese Weise interpretieren lässt), sind ihre Ergebnisse verifizierbar. Mit ihr ist es möglich, ein modellfreies Wissenssystem aufzubauen, indem es sich am Vorbild der Euklidischen Geometrie orientiert: Jede Erscheinung ist durch zusammenwirkende Vorgänge bedingt. Zur Kommunikation können die unerlässlichen Bedingungen mit der Erscheinung in einem Wenn-dann-Satz verbunden werden. (Was das Phänomen nur in seiner konkreten Erscheinung *modifiziert*, wird zum Gegenstand der nächsten Untersuchung.) Sofern diese Zusammenhänge regelmäßig und ohne Ausnahme auftreten, entsprechen sie Euklids Axiomen. Als Erfahrungstatsachen sind sie weder eines Beweises bedürftig noch können sie bewiesen werden noch sind sie ableitbar. Eine Suche nach Ursachen für die Axiome hat Euklid nicht unternommen; sie kann auch in der Naturbeschreibung entfallen. Es genügt die Darstellung von Wenn-dann-Folgen. Die Verknüpfung der Axiome erfolgt entsprechend dem Zusammenwirken in der Realität. (These 18)

Ist nur Wissenschaft, was Messwertwissen schafft? Einer Wissenschaft, die sich auf das Messbare begrenzt, geht die Definition der Untersuchungsgegenstände, die Beantwortung der Was-Fragen, immer schon voraus. Schwarz drückt das so aus: „Wie groß also die ‚Krümmung‘ des Raumes ist, läßt sich messen. Ob er aber überhaupt gekrümmt bzw. eben ist oder nicht, ob sich diese Alternative für den Raum überhaupt stellen läßt oder nicht, dies kann nur definiert, nicht aber gemessen werden.“ [SCHWARZ 1969, S. 37, S. 199] Dasselbe könnte man für die Abbildung eines Kreises sagen: Das Gesetz des Kreises lässt sich nicht messen. Man kann bestimmen, welcher Streuung der Radius unterliegt und danach über die Annahme des vermuteten Zusammenhanges zwischen den Beobachtungen entscheiden. Im anzustrebenden Idealfall emergieren die Zusammenhänge aus den Beobachtungen mit Notwendigkeit.

Naturerkundung als beobachtungsgeführte Begriffsentwicklung, das ist die hier vorgestellte Methode. Die Sinnesempfindung liefert *wie* etwas ist, die Sinnesintention, *ob* etwas ist und das Sinneserkennen beantwortet die Frage nach dem Was. Ob und wie etwas ist, sind anerkanntermaßen nicht die Fragen einer Probleme lösenden Naturwissenschaft. Und zum Wert des Was schreibt Popper: „Fragen wie ‚Was ist das Leben?‘ oder ‚Was ist die Schwere?‘ spielen in der Wissenschaft keine Rolle“ [POPPER 1945, S. 76], weil die Bestimmung des Wesens einer Sache keine Aufgabe neuzeitlicher Wissenschaft ist [BÖHME 1997a, S. 42]. Die Ablehnung des hier Vorgetragenen durch Popper findet sich mühelos an weiteren Stellen seines Werkes. Beispielsweise sagt er zur Phänomenologie Husserls, dass dies „weder eine Methode der Wissenschaft noch eine Methode der Philosophie“ sei [POPPER 1945, S. 78].

Während bis weit in das 20. Jahrhundert angenommen wurde, dass die naturwissenschaftliche Methodik das erkennende Subjekt, nämlich das menschliche Bewußtsein aus ihren Betrachtungen ausschließen könnte, würde heutzutage vermutlich kaum jemand eine objektive Trennung von Subjekt und Objekt ernsthaft verteidigen. Steinle weist nach, dass die immer vorausgehende Entwicklung der Begriffe auch historisch gesehen eine „allgemeine und in den Naturwissenschaften verbreitete Arbeitsweise“ [STEINLE 2005, S. 330] ist. Es kommt nun darauf an, Wissenschaftlichkeit auch in den Bereich der Begriffsbildung vorzutragen, aus dem sie aus der Sicht Karl Poppers grundsätzlich verwiesen ist.

6.17 Fazit

Mit diesen Eckpunkten wird eine Vorgehensweise beschrieben, Begriffe unter strenger Bindung an ihre empirischen Quellen zu bilden. (Der Regelfall sieht gerade anders aus: Man bestimmt aus Messwerten, was es ist, das man gemessen hat.)

Mit der Erarbeitung dieser Eckpunkte sind zwei Ergebnisse erreicht: Erstens kann unterschieden werden, was empirische Grundlage ist und wo Spielräume für gedankliche Interpretationen bestehen. Zweitens können alle Phänomene untersucht werden, und zwar auch jene, von denen angenommen wird, dass sie nicht der (Natur-)Wissenschaft, sondern der Philosophie angehören⁹⁶, wie z. B. die Kategorien Raum und Zeit:

„Wer versucht, sich über Raum und Zeit Klarheit zu verschaffen, gerät bei der Frage, was sie denn eigentlich seien, zunächst in die Schwierigkeit, nicht zu wissen, an welche Wissenschaft er sich wenden soll. [...] Die Frage nach dem Wesen von Raum und Zeit ist eine philosophische.“ [SCHWARZ 1969, S. 15]

⁹⁶ Vgl. Abschnitt 6.2.

7 Raum als Verständnis- und Bezugsgrundlage der Geoinformatik

Fernerkundungsdaten stellen räumliche Verteilungen ausgewählter Beobachtungsgrößen dar. Ihre Verschneidung mit anderen Geodaten erfolgt in Geoinformationssystemen.⁹⁷ Couclelis sieht Geoinformationssysteme herausgefordert, die nahtlose Integration von Raum und Zeit im Newton'schen Sinn, in relativen und nicht metrischen Räumen und in mannigfaltigen Raum-Zeit-Perspektiven zu verwirklichen [COUCLELIS 1999]. Allerdings sieht sie die Grundsatzfrage nach den der Geoinformatik zugrunde liegenden Begriffen Raum und Zeit explizit als ungelöst und offen an. Sie überlässt es dem Leser und damit dem Verfasser der vorliegenden Schrift, die Grundlage der Geoinformatik, der Geoinformationssysteme und der Fernerkundung darzulegen.

Raum und Zeit sind nahezu allgegenwärtig. Wir richten nicht nur das Handeln danach aus, sondern ordnen unsere Erfahrungen nach ihnen. Auch nicht räumliche Bewusstseinsinhalte haben Bezüge zu dem Zeitraum und zu dem Ort, an dem sie gedacht worden sind. Jedermann hat ein instinktives Verständnis des Raumes. Das instinktive Verständnis soll am Anfang der Betrachtung stehen:

7.1 Das instinktive Verständnis des Raumes

Einige Beobachtungen und Ansichten zum instinktiven Verständnis des Raumes:

- (1) Die Wahrnehmungen der Sinnesqualitäten der Bewegung, des Sehens, des Tastens, des Geruchs, des Gehörs, des (körperlichen) Schmerzes lassen sich lokalisieren. Wenn sie außerhalb meines Leibes sind, lässt sich eine Richtung zu ihnen angeben. Auch gestaffelte Entfernungsangaben und Angaben innerhalb von Gegensatzpaaren vorn–hinten, unten–oben, rechts–links sind möglich. Darüber hinaus können bereichsartige Angaben wie innen–außen oder dünn–dicht unterschieden werden.
- (2) Es gibt auch Sinnesempfindungen, die sich nicht verorten lassen: Wohlbefinden, Wahrnehmungen des Gedankensinnes.
- (3) Die uns umgebenden Dinge stellen sich nebeneinander dar.
- (4) Man kann eine Art „Ausdehnungserlebnis“ [SCHWARZ 1969, S. 17] erfahren und dabei ein Raumgefühl entwickeln.
- (5) Ein Gegenstand kann seine Lage im Raum ändern, er bewegt sich.
- (6) Ein Ding kann seinen Zustand ändern. Alle Empfindungen, auch gedankliche, können sich entwickeln.
- (7) Darüber hinaus wird Raum nicht nur als räumliches Nebeneinander, sondern auch abstrakt als Mengenbegriff zur Bezeichnung einer Gruppe von Elementen verwendet (siehe Abschnitt 7.6.1).
- (8) Selbstverständlich können wir uns oder unseren Blick von hier nach dort bewegen, selbstverständlich gibt es Gegenstände nebeneinander und Ereignisse nacheinander. Alle auf ein Gegenüber bezogenen Erfahrungen können räumlich und zeitlich verortet werden. Die Fähigkeit von Raum und Zeit, Sinnesempfindungen zu koordinieren und zu synthetisieren, ist ausgesprochen hoch. Was ein Gegenüber ist, unterliegt indes einer willentlichen Bestimmung.

⁹⁷ Überblicksdarstellungen zu den Raumkonzepten der Geografie, Kartografie und Geoinformatik finden sich in [WARDENGA 2000], [KOCH 2002], [COUCLELIS 1999], [BOLLMANN 2002] oder [DONNER 2004].

7.2 Vorbetrachtung

Mit den Erfahrungen und Feststellungen ist umschrieben, was als eine Art „natürliches Verständnis“ des geometrischen Raumes bezeichnet werden kann. Das Konkreteste der bisher genannten Erfahrungen sind die Erfahrungen von Änderungen, (6), und die Zuweisung von Richtungen, (1) und (3). (2) wirft die Frage auf, wodurch Empfindungen, denen ein Ort zugewiesen werden kann, von anderen unterschieden werden können.

Die im Abschnitt 7.1 genannten Ansichten tragen zu den Vorstellungen von Raum und Zeit bei. Die praktische Erfahrung beim Einräumen eines Raumes (vgl. [EINSTEIN 1916, S. 86 f.]) unterstützt die Idee, Raum sei so etwas wie ein Behälter, er sei da und könne gefüllt werden. Ähnlich verhält es sich mit der Zeit: Auch sie scheint da zu sein und gefüllt werden zu können. Diese Behältervorstellungen von Raum und Zeit sind für tägliche Lebensvollzüge ausgesprochen hilfreich, da die auf sie gebauten Erklärungen gut nachvollzogen werden können. Anders gesagt: Der Behälterraum ist ein Funktionalbegriff aus dem heraus die Planung des Handelns oder das Einräumen eines Zimmers verständlich sind. Die eigenen Erlebnisse scheinen die Vorstellungen von Raum und Zeit als etwas, das gefüllt oder leer sein kann, zu bestätigen.

Im Alltag interpretieren wir unsere Erfahrungen sofort als Gegenstände, Zustände, Bewegungen an bestimmten Orten zu bestimmten Zeiten. Der naive Anschauungsraum ist einer von Gestalten, die eine Lage, eine Größe und eine Entfernung haben. Er ist durchsetzt mit Begriffen. Daher bietet er sich nicht als Ausgangspunkt für die Bestimmung des Raumbegriffs an. Es kommt auch nicht darauf an, sogenannte Tiefenkriterien zu bestimmen, die ihrerseits wieder mehr oder weniger mit Begriffen durchsetzt sind. Notwendig ist eine Rückführung auf möglichst gedankenfreie Sinnesempfindungen.

Zur Bestimmung des Raumbegriffes ist zu fragen, ob Raum die Bezeichnung für eine nicht zu hinterfragende, „objektive“ Sinnesempfindung ist, wie das erwähnte Raumgefühl (4) anzeigen könnte. Hinsichtlich der Objektivität lassen sich nach den Ausführungen von Abschnitt 4.4 begrifflich interpretierte Sinneswahrnehmungen zwischen den beiden Polen reiner Sinnesempfindung einerseits und reinem, sinnlichkeitsfreiem Denken andererseits einordnen. Begrifflich interpretierte Sinneswahrnehmungen sind Verbindungen von Sinnesempfindung und gedanklicher Interpretation. Zu ihnen gehören die stärker gedanklich dominierten körperlichen Gegenstände sowie die stärker von den Empfindungen bestimmten Empfindungskomplexe mit gedanklichem Inhalt. Zu Letzteren gehört das Raumgefühl. Dies wird an seiner Abhängigkeit von anderen Sinnesempfindungen wie dem Klang, dem Licht oder dem Geruch deutlich. Raumgefühl ist eine Mischung von Empfindungen und Gedanken. Das Raumgefühl wird eher erspürt als konkret bestimmt. Von ihm kann nicht auf die Ontologie eines Raumes geschlossen werden. Raum ist also nicht die Bezeichnung einer Sinnesqualität. (So auch explizit bei [KANT 1887, S. B 39] oder [SCHWARZ 1969, S. 23])

Liegt der Ursprung des Raumbegriffes a priori, also vor jeder Erfahrung, wie Kant annahm, weil die Unterscheidung von innen und außen – wie die Unterscheidung zwischen ausgedehnten und gedachten Dingen („res extensa“ und „res cogitans“ bei Descartes) – Raum schon voraussetzt? Dagegen spricht, dass sehr zuverlässig und zwar aufgrund von Sinneserlebnissen unterschieden werden kann, was sich vorn oder hinten, rechts oder links, oben oder unten befindet oder was gleich oder ungleich, statisch oder veränderlich ist. Raum ist daher kein *reines* Gedankenkonstrukt ohne jeden Erfahrungsgehalt, sondern ein sowohl erfahrungsbasierter als auch gedanklich bestimmter Begriff.

Der Begriff des Raumes hat somit eine Zwischenstellung: Er ist sowohl von den Empfindungen „abgezogen“⁹⁸ als auch Voraussetzung für die Betrachtung der Sinnesempfindungen als äußerliche: Damit ich Sinnesempfindungen als äußerliche betrachten kann, brauche ich den Raumbegriff. In dieser Zwischenstellung unterscheidet er sich nicht vom Begriff des Kreises in Abbildung 11, Seite 28. Der Begriff ist in beiden Fällen einerseits in den Sinnesempfindungen verankert, andererseits stellt er einen Zusammenhang zwischen ihnen her. Er ist einesteils in den Empfindungen begründet, andererseits ordnet er diese. Die Zuordnung eines Begriffes ist weder vollkommen determiniert noch vollkommen willkürlich, was man schon daran erkennen kann, dass man in Abbildung 11 den Kreis kaum als Giraffe deuten kann.

Gauß bestimmte Raum als sowohl empirisch als auch gedanklich. Er kam im engeren Bezug auf die Raumlehre zu der Überzeugung, dass „man die Geometrie nicht mit der Arithmetik, die rein a priori steht, sondern etwa mit der Mechanik in gleichen Rang setzen“ müsse [GAUß 1817]. An den Mathematiker Bessel schrieb er im April 1829: „[...] wir müssen in Demuth zugeben, dass, wenn die Zahl bloss unsers Geistes Produkt ist, der Raum auch ausser unserm Geiste eine Realität hat, der wir a priori ihre Gesetze nicht vollständig vorschreiben können“. [GAUß 1829] Auch Newton und Einstein gingen von einem Raum aus, dessen Eigenschaften empirisch bestimmt werden könnten.

Zur Erklärung, und um einem Missverständnis vorzubeugen, möchte ich die hier vertretene Position der wechselseitigen Beeinflussung von Beobachtung und Interpretation von absolutistischen Auffassungen des subjektivistischen wie des objektivistischen Pols unterscheiden: Bei Kant und in der modernen Physik werden in Bezug auf den Raum polare Extreme vertreten: Kant beschreibt in [KANT 1787, B 37–B 40] Raum und Zeit sinngemäß als zwei Brillen, mit denen der Mensch die Welt wahrnimmt. Wie sie ohne diese Brillen wäre, könnten wir nicht wissen, denn das „Ding an sich“ könnten wir nicht kennenlernen. Von allem Empirischen könne man absehen, von der Ausgedehtheit im Raum könne man nicht absehen, ohne sie selbst zunichte zu machen. Raum sei nichts anderes als die Form, in der alle Erscheinungen der äußeren Sinne gegeben werden. Wenn man einen Begriff als eine solche Brille ansähe, durch die man die Welt sieht, könnte man Kant zustimmen. Ohne Begriffsbrillen gibt es nichts zu erkennen, weder das Ein und Alles, das von etwas unterschieden werden könnte, noch das Nichts noch irgendetwas. Alles, was irgendwie bezeichnet und durch diese Bezeichnung von anderem unterschieden werden könnte, hat seine Bestimmung nur von dieser Bezeichnung, nur durch die bezeichnete Sichtweise, durch die Brille des bezeichneten Begriffes.⁹⁹ Aber Begriffe haben alternative Bedeutungen und dies gilt, womit Kant widersprochen werden muss, auch für jene des Raumes und der Zeit. Und noch ein Aber: Kant postuliert, dass die Eindrücke, die ein Mensch von den Dingen bekommt, ihre räumliche und zeitliche Ordnung erst durch die Wahrnehmung, den Raum und die Zeit erhielten und daher dem Auffassungsvermögen des Menschen geschuldet und von den Dingen unabhängig seien. Aber: Wie die Empfindungen von Lärm, Wohlbefinden, Helle, Druck, Gleichgewicht zeigen, kann ich auch ohne Begriffe von Raum oder Zeit wahrnehmen.

Zu den Vertretern objektivistischer Positionen, welche die geometrische Ordnung der Natur als vollkommen vom Menschen unabhängig darstellen, können beispielsweise Max Planck und Albert Einstein gerechnet werden, die an der objektiven Realität der den Erscheinungen zugrunde liegenden mathematisch-physikalischen Theorien festhielten [NEUMANN 1999, S. 103]. Raum und

⁹⁸ Anspielung auf [KANT 1787, S. B 39]: „1. Der Raum ist kein empirischer Begriff, der von äußeren Erfahrungen abgezogen worden. [...]“

⁹⁹ Vgl. Kapitel 3, Seite 23: Das bedeutet nicht, dass ohne menschlichen Betrachteter nichts da wäre, aber der Mond ist nur Mond, wenn eine bestimmte Menge Eigenschaften zu „Mond“ zusammengefasst und von anderen Eigenschaften unterschieden werden. Ohne diese Zusammenfassung gibt es das Zusammengefasste nicht. Jede begriffliche Bezeichnung ist eine Spezifizierung, die ohne dass sie getan wird, nicht existiert. Wenn niemand den Mond von dem Rest des Daseins und des Nichtdaseins unterscheidet, ist der Mond nicht von den Sternen, der Sonne und sonst allem anderen unterschieden. Wenn jemand nicht alles Existierende unter den Begriff des Seins subsummiert gibt es das – subsummierte – Sein nicht.

Zeit haben für Einstein einen vom Subjekt unabhängigen Charakter¹⁰⁰, den man physikalisch erforschen kann. Diese objektivistische Auffassung erschwert das Verständnis seiner Raumtheorie. Bedenkt man, was sich aus den folgenden Abschnitten der vorliegenden Arbeit ergibt, nämlich, dass der sinnliche Erfahrungsraum zu anderen geometrischen Eigenschaften führt als ein aus unter bestimmten Annahmen und spezifischen Messungen konstituierter Raum, wird sofort einsichtig, dass der Erlebnisraum unendlich, der kosmologische Raum Einsteins endlich und gekrümmt sein kann.

Gegen solche objektivistische Deutung (der Quantentheorie) richteten sich die Vertreter der Kopenhagener Schule um Niels Bohr, darunter auch Heisenberg. Für ihn führte das durch die Quantenphysik aufgeworfene Messproblem zu der grundsätzlichen Einsicht, dass wir im Grunde nicht die Natur an sich, sondern immer nur unsere Kenntnis der Natur zum Gegenstand der Wissenschaft machen können. Die Descartes'sche Unterteilung von *res cogitans* und *res extensa*, die Einteilung in Subjekt und Objekt, Innenwelt und Außenwelt, eignet sich für Heisenberg nicht als Ausgangspunkt einer modernen Naturwissenschaft [HEISENBERG 1953].

Welche Erfahrungen liegen dem Raum zu Grunde, was ist die empirische Seite? Um dies herauszufinden, ist konsequent empirisch vorzugehen und den Ausgangspunkt der Untersuchung in das Sinneserleben zu legen, ohne eine Vermischung mit gedanklichen Inhalten oder mit Empfindungen des Behagens zuzulassen. Dieser Ausgangspunkt ist der Grund, warum nicht auf eine der zahlreich vorhandenen Bestimmungen des Raumbegriffes in [EINSTEIN 1916], [SCHWARZ 1969], [GOSZTONYI 1976], [JAMMER 1980], [GSCHWIND 2004] oder die Raumbestimmung des Phänomenologen Husserl¹⁰¹ verwiesen werden kann (These 22).¹⁰² Die Notwendigkeit, konsequent empirisch vorzugehen, macht die Frage nach dem Raum in besonderem Maße geeignet, die Darstellung der im vorigen Kapitel entwickelten Methode durch eine beispielhafte Anwendung zu vervollständigen.

Überschaut man Gosztonyis Darstellung der über zweitausendjährigen wissenschaftlichen Auseinandersetzung mit dem Raum und seinen Eigenschaften, finden sich viele der hier vorgetragenen Ideen bereits bei anderen Mathematikern, Physikern, Philosophen. Allerdings verstreut und in ganz unterschiedlichen Kontexten. Das Ziel dieses Kapitels ist jedoch nicht die Auseinandersetzung und Synthese dieser Entwicklung, das haben Gosztonyi [GOSZTONYI 1976] oder Jammer [JAMMER 1980] bereits geleistet, sondern das Anwenden der hier entwickelten Methode auf ein grundlegendes Problem der Geoinformatik. Die Methode legt ihren Schwerpunkt gerade nicht auf den Streit um das Verständnis der Worte anderer, sondern hält sich an die Beobachtungsergebnisse.

Das menschliche Denken bedient sich mehrerer Spezialisierungen des Raumbegriffes für das Verstehen und Ordnen der Welt. Zwei dieser Spezialisierungen, die Ordnung der Sinnesempfindungen und die Ordnung physikalischer Beobachtungen, sollen hier entwickelt werden. Den Anfang machen im nächsten Abschnitt der Raumbegriff zur gedanklichen Ordnung jener Erfahrungen, die so wenig wie irgend möglich gedanklich interpretiert sind: die Sinnesempfindungen, wie sie tatsächlich erlebt werden.

¹⁰⁰ Daran ändern auch die relativistischen Veränderungen nichts.

¹⁰¹ Auch sie nimmt ihren Ausgangspunkt nicht bei der reinen Sinnesempfindung. Man könnte Husserls Vorgehen als „indirekt“ bezeichnen: Ausgehend von der Frage, was der Mensch ausschließlich aufgrund seiner Bewusstseinsdaten unter Raum versteht, zeige sich laut Husserl, „daß ohne Berücksichtigung der Sinnestätigkeit keine auch nur einigermaßen fruchtbare Aussage über den Raum möglich ist.“ Was Raum ist, vermitteln ihm die Sinne. Als einziges raumerfahrendes Moment betrachtet er dann das „Bewußtsein der Empfindung der Eigenbewegung“. [GOSZTONYI 1976, S. 855]

¹⁰² In Bezug auf den Raum kommt Schwarz zu dem Schluss: „Die Wirklichkeit der Physiker ist ihre eigene Voraussetzung. [...] Erst der Physiker denkt den Raum als Körper, damit ist ihm gestattet, Abstände zu messen.“ [SCHWARZ 1969, S. 36 f.] Zur Vertiefung sei angeführt, wie ich diesen Gedanken zu formulieren hätte: Die Wirklichkeit der Physiker ist ihre eigene Voraussetzung. Erst der Physiker denkt, seine Erlebnisse wären im Raum angeordnet. Damit ist ihm gestattet, Abstände zu messen.

7.3 Bildung eines konsequent empirisch gebildeten Raumbegriffes

Die erste Beobachtung bezieht sich auf Richtungen:

7.3.1 Beobachtungen zu Richtungen

- (9) Man versuche, bei geschlossenen Augen in verschiedenen Körperhaltungen, einige Richtungen (oben, unten, rechts und links, vorn, hinten) zu bestimmen.
- (10) Man richte sich aus dem Sitz oder vom Boden auf.
- (11) Man führe einige Balanceübungen durch.

Die Anordnung in Form eines Nebeneinander hat, wie man sieht, ihren realen Grund in den Richtungserlebnissen. Sie sind Erfahrungstatsachen, Richtungen können nicht beliebig zugeordnet werden. Die Empfindungen des Richtungssinnes begründen einen Richtungsraum. In ihm werden Richtungen einzeln und nebeneinander erlebt.

Der Mensch ist durch Vorwärts-, Aufwärts oder Drehbewegungen in der Lage, Richtungen zu ändern, wie er auch eine Druckempfindung oder die Höhe eines Tones verändern kann. Das Nebeneinander der Richtungen ermöglicht alternative Fortsetzungen einer Bewegung: Im Vollzug der Bewegung entstehen mit immer neuen möglichen Richtungen endlos weitere Differenzierungsmöglichkeiten. Durch Bewegung wird somit Raum für weitere Bewegungen in verschiedenen Richtungen geschaffen.¹⁰³ Die fortwährende Bewegung in einer jeweils gewählten Richtung erzeugt eine Art *empirische* Weltenlinie – mathematisch beschreibbar mit Polarkoordinaten (rechts–links, oben–unten) und einem Bewegungsvektor.¹⁰⁴

7.3.2 Beobachtungen zur Entstehung des Raumes

- (12) Bitte betrachten Sie die Farbfläche der Abbildung 32, ohne die Unterschrift zu lesen. Achten Sie darauf, wie mit der sukzessiven Interpretation der Farbverteilung ein Raumeindruck entsteht.

¹⁰³ Das gilt nicht nur für den Richtungssinn: Bewegungen verlaufen im Merkmals- oder Eigenschaftsraum, *begriffliche* Bewegungen in den verschiedensten semantischen Räumen.

¹⁰⁴ Die zur Deutung der Speziellen Relativitätstheorie gebildete Weltenlinie (z. B. [Schneider 1988, S. 222]) beruht demgegenüber bereits auf einem gedanklich konstruierten Raum und einer auf den Raum bezogenen Bewegung.



Abbildung 32 Die Entstehung des Raumes. „Der Blick auf einen Seitenkanal des Arsenal's (J. M. W. Turner, um 1840) zeigt ein höchst subtiles Licht-und-Schattenspiel, in dem sich Schein, Widerschein und Wasserspiegelung vielfältig ergänzen und gegenseitig überhaupt erst kenntlich machen [...] Die weiß aufgehellten Fassaden in der Mitte hinten kontrastieren mit den intensiver farbigen roten, blauen oder grünen Flächen zur Rechten. Sie bilden so ein Gegenüber und ein Zwischen, in welchem sich die Boote, das Wasser sowie Sonnenstrahlen und Schatten bewegen. Die in dieser Szenerie faßbar werdenden Dinge, sowie der Raum, in dem sie vorgestellt werden müssen, können nicht als etwas für sich Bestehendes, so und nicht anders Fixiertes gelten. Der Raum, in dem die Dinge erscheinen, bildet sich mit den in Erscheinung tretenden Dingen.“ [BOCKEMÜHL, M. 1999, S. 61]

- (13) Wenn Sie in einem nicht dunklen Raum erwachen und die Augen öffnen, achten Sie auf den Übergang bis zum scharfen Erkennen Ihrer Umgebung.

Diskussion

Kaum hat man bei geöffneten Augen die Aufmerksamkeit auf die Farbfläche gerichtet, bleibt der Blick an helleren oder grelleren Farben kleben, Kontraste fallen auf, Grenzen zwischen den Flächen deuten sich an. Aus Strukturen entstehen Gestalten. Der Blick folgt bestimmten Linien, um von ihnen ausgehend nach und nach über das Bild insgesamt geführt zu werden. Aus Konturen, Linien und Flächen werden Körper, die als Gebäude erkannt werden. Oder hat man zuerst Gebäudefassaden erkannt, die zu räumlichen Körpern gehören? Aus bewegt erkundeter Farbe emergiert räumliches Tiefensehen und mit Körpern gefüllter Raum. Dieser vom Künstler für den Betrachter komponierte Prozess der Bildentstehung unterscheidet sich in den hier relevanten Aspekten nicht von Betrachtungen in der Natur: Mit der Bildung umgrenzter Flächen und ihrer Interpretation als Körper entstehen aus Farben erst Farbflächen, dann mit Körpern Raum.

Ad (13): Nach dem Öffnen der Augen erlebt man zunächst Helle und Farbe. Nach und nach wird das Sehen intensionaler, es entwickelt sich vom Erleben einer Helle zum Sehen von etwas (Konkretem) und zum Sehen räumlicher Objekte.

Ein Begriff ist in der durch ihn geordneten Erfahrung auffindbar: Wie ich eine Vase erkenne, wenn ich das Rubin'sche Umkehrbild (Abbildung 10, Seite 20) als Vase interpretiere, so erkenne ich Raum, wenn ich die Sinnesempfindungen als Raum interpretiere. Mit der Bildung räumlicher Dinge ist Raum in den Dingen sichtbar.

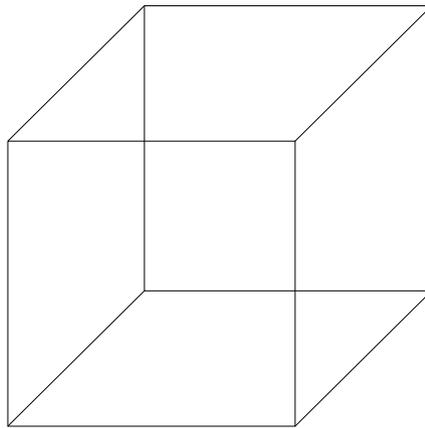


Abbildung 33 Umkehrbild. Diese Zeichnung kann mit unterschiedlichen Begriffen interpretiert werden: Als Bild eines aus der Perspektive von rechts oben oder von links unten abgebildeten Drahtwürfels.

Der Beobachter schafft die Bedingung für das Erscheinen der Körper. Und mit dem Körper erscheint aus dem Zusammenfließen von Seh-, Bewegungs-, Gleichgewichts-, Tast- und Gedankensinn der Körperraum. In diesem Sinne gehe ich konform mit der Gestaltpsychologie, die die Bildung zusammenhängender Gestalten durch bestimmte gedankliche Kriterien untersucht hat. Sie zeigt, dass das Psychische nicht aus einem räumlichen oder zeitlichen Zusammentreffen seiner Teile entsteht, sondern dass sich durch die Wirkung „ganzheitlicher Kräfte“ eine spontan regulierende dynamische Ganzheit bildet. [STRÜBER 1987] Die Begriffe Raum und Zeit sind jene „ganzheitlichen Kräfte“, welche die Sinnesempfindungen in eine erste, grundlegende Ordnung bringen.

Aus dem *Prozess* der Bildbetrachtung geht ein *statisches* räumliches Gebilde hervor. Mit der Bildung von Gegenständen werden nacheinander erfahrene Sinnesempfindungen zu einem Nebeneinander geordnet. Bildinterpretation ist ein Prozess, dessen Erlebnisse als fixer Raum interpretiert werden. Analog verhält es sich mit der Entstehung einer statischen Kreisform aus dem dynamischen Erleben einer Bewegung, die wir gewohnt sind, als kreisförmig zu bezeichnen in Abbildung 17, Seite 34: Mit der Bildung der gegenständlichen Begriffe und der Ordnung der Eindrücke entsprechend diesen Begriffen geht eine Zusammenfassung *nacheinander* erfahrender Beobachtungen in ein *statisches* Nebeneinander, den Raum, einher. Die Interpretation der Nacheinander-Erlebnisse als räumliches Nebeneinander lässt aus Bewegungserlebnissen einen unbewegten Raum werden. Diese an der Bildbetrachtung gewonnene Einsicht kann durch folgende Beobachtung vertieft werden:

- (14) Man gehe um einen rechteckigen Tisch und betrachte ihn aus verschiedenen Richtungen. Wiederum kommt es darauf an, sich die Ansichten nicht vorzustellen, sondern tatsächlich verschiedene Vierecke zu sehen.

Aus den verschiedenen Perspektiven des Gegenstandes entsteht Körperlichkeit, wenn die Bilder aus einem gemeinsamen Ursprung als Ansichten hervorgehend gedacht werden können. Die unterschiedlichen Ansichten sind *nacheinander beobachtet*, jedoch zu *einem* Ding zusammengefasst (siehe Abschnitt 4.2.3: Synthese durch Gegenstandsbildung). Man kann sagen, dass die nacheinander erfahrenen Sinneserlebnisse ihre Interpretation als gleichzeitiges Nebeneinander im Raum nahelegen.

Das dauernde Bestreben, Sinnesempfindungen gedanklich einzuordnen, führt zur Interpretation nacheinander erfahrener Erlebnisse als „gleichzeitig und nebeneinander“. Das Denken sucht fortwährend nach Verbindungen zu anderen Bewusstseinsinhalten. Das, was alle Erlebnisse zu verbinden gestattet, sind die Begriffe von Raum und Zeit. Die (äußeren) Sinneserlebnisse lassen sich als zu einem dreidimensionalen Raum gehörend interpretieren. Mit der Einordnung der Sin-

neserlebnisse in Raum und Zeit ist im Streben nach gedanklicher Systematisierung ein erster Erfolg erreicht. Raum und Zeit sind Gedanken (Begriffe), mit denen Sinnesempfindungen verständlich geordnet werden (können), so, wie die schwarz-weißen Flächen in Abbildung 24 rechts, Seite 54, als Kreis geordnet werden können.

Aus den Sinnesempfindungen wird ein Begriff gebildet, der die Sinnesempfindungen ordnet. Mit dem Auftauchen eines Begriffes im Bewusstsein, der die Empfindungen zu einem Ganzen verbindet, werden sie verstanden. Raum entsteht also dann, wenn verschiedene Sinnesempfindungen (Eindrücke der beiden Augen, wahrgenommene Bewegungen, Hör- und Tasterlebnisse usw.) durch Zusammenfassung in ein räumliches Nebeneinander sinnvoll geordnet werden. Diese Deutung ist jedoch nicht vollkommen willkürlich: Die Sinnesempfindungen müssen diese Anordnung zulassen (These 23).

Für den Übergang vom erlebten *Prozess* zum statischen *Nebeneinander* des Raumes ist die Deklaration der Gleichzeitigkeit maßgeblich. Auch das kann bewusst werden, wenn man Folgendes betrachtet:

7.3.3 Zur Rolle der Gleichzeitigkeit

(15) Man beobachte ein entfernt vorbeifahrendes Auto, ohne explizit auf dessen Bewegung zu achten.

Typischerweise gelangen diskrete Einzelbilder in das Bewusstsein.¹⁰⁵

(16) Beobachten Sie bei Gewitter die Lichterscheinung des Blitzes und die Donnerschläge. Sind Sie der Meinung, dass Blitz und Donner räumlich zusammengehören, wenn ja, warum? Wenn der Donner in meinem Ohr aktuelle Gegenwart wird, ist der Blitz schon längst Vergangenheit geworden. Das zuckend Grelle des Blitzes spricht etwas ganz anderes an, als das Grollen des Donners – sie haben sehr unterschiedliche „Charaktere“.

Diskussion

Sinnesempfindungen werden immer als aktuell, als Hier und Jetzt wahrgenommen: Was ich taste, rieche, höre, sehe, schmecke, fühle, erlebe ich jetzt, als Gegenwart. Um zu erkennen, darf allerdings nicht bei den unmittelbaren Empfindungen von Ohr und Auge stehengeblieben werden, sondern durch Erkenntnisanstrengung sind verschiedene Empfindungen begrifflich zu verbinden, welche zunächst keine Beziehung zueinander besitzen und auch ganz andere „Gestik“ besitzen können. Werden diese beiden so unterschiedlichen Sinnesqualitäten – das momentan Zuckende des Blitzes und das grollende, anhaltende Donnern – durch mein Denken zu *einem* Ereignis vereinigt, kann aus dem Aktualitätsverlust der einen gegenüber der anderen Wahrnehmung eine räumliche Entfernung des Ereignisses *konstruiert* werden: Je größer der „Aktualitätsverlust“ zwischen Blitz und Donner, umso entfernter ist das Ereignis. Die Vereinigung ursprünglich nacheinander erfahrener Ereignisse konstruiert also räumliche Entfernung.¹⁰⁶ Dies kann deutlich werden, wenn man sich klarmacht, dass 1, die Folge der visuellen Fixationspunkte, die Bewegungen zwischen ihnen sowie die jeweils zugehörigen Richtungen den Raumeindruck einer Anschauung konfigurieren und dass 2, ein Bild oder die Karte der erfahrenen Landschaft aus dem Gleichzeitigsetzen der am Start, unterwegs und am Ziel erlebten Beobachtungen resultiert oder dass 3, die zeitliche Gleichsetzung der Lichterscheinung eines Blitzes und dem deutlich später vernom-

¹⁰⁵ Dieses Phänomen diene als Argument, Bewegung sei keine unmittelbare Empfindung, sondern Resultat einer Folgerung, siehe Abschnitt 3.4.

¹⁰⁶ Die maßgebende Rolle der Definition der Gleichzeitigkeit für die Eigenschaften des – immer gedanklich konstruierten – Raumes bzw. der Lichtausbreitung zeigt sich auch bei der relativistischen Uhrensynchronisation: Führt man die Zeitmessung auf Bewegung zurück, was für eine operative Definition der Zeit unablässig ist, ist ein Zeitmaß nur an dem Ort erklärt, an dem sich die konkrete Uhr befindet. Gleichzeitigkeit entferntere Ereignisse kann nur mit zusätzlichen Festlegungen definiert werden. Dabei „werden durch das Synchronisierungsverfahren die Eigenschaften der Lichtausbreitung erst festgelegt.“ [GSCHWIND 2004, S. 90 unter Bezug auf Mittelstaed, P. 1976 Zeitbegriff in der Physik. Mannheim].

menen Donnerschlag die räumliche Entfernung konstruiert. Mit dem Raumbegriff werden sukzessiv und nacheinander erfahrende Bewegungen zu diskreten Augenblicken integriert (These 3, 4 und 24). Raum ist Nebeneinander.

An diesem Beispiel wird auch das Verhältnis von ästhetischer Betrachtung und künstlerischem Schaffen einerseits sowie Erkenntnis andererseits deutlich: das gedankliche Verbinden der Sinneserlebnisse ist zwangsläufig mit einem Verlust an Wirklichkeit verbunden – aus einem Erlebnis wird die gedachte Ordnung. In der Erlebnisganzheit gibt es keine Trennung zwischen dem Ich und seinem Gegenstand. Ästhetische Beobachtung ist gedankenfreie Empirie. Kunst macht die Erfahrungen deutlicher sichtbar. Das Denken gliedert, wählt aus, abstrahiert, entfremdet, identifiziert und verbindet zu einem verständlichen System, unter Verlust von Aktualität, Authentizität, Vollständigkeit, Gleichwertigkeit und Wirklichkeit.

Die Zeiträume, welche dabei in Nebeneinander-Räume zusammengefasst werden, können ganz unterschiedliche Größen haben: Bei Betrachtung von Abbildung 17, Seite 34, wird die Augenbewegung zur Form integriert, bei Blitz und Donner die Zeitspanne einiger Sekunden zur Entfernung, in der Kosmologie werden Milliarden Jahre der Lichtausbreitung in Raumgröße umgerechnet

7.3.4 Anmerkungen zum Zeitbegriff

Wendet man sich dem Phänomen Zeit zu – ebenfalls unter Rückbezug auf noch nicht gedanklich interpretierte Beobachtungen –, zeigt sich, dass auch „Zeit“ keine Bezeichnung einer unmittelbaren Empfindung ist: Sie tritt in keiner Erfahrung unmittelbar auf, das heißt: ohne gedankliche Interpretation. Die Erinnerung an das Vergangene, wie auch die Erwartung der Zukunft, sind Voraussetzungen für alles *Wissen* von der Zeit. SCHWARZ [1969, S. 178] weist diesen Gedanken bereits bei Augustinus nach: „Das eigentliche Auseinander der Zeit – und dies ist das Ergebnis der Überlegungen des Augustins – ist begründet in der memoria.“ Wir folgen [SCHEURLE 1984, S. 99]: Zeit ist nicht unmittelbar empfindbar. Nur Wesen, die Erinnerungen an Vergangenes haben und in die Zukunft voraus zu denken vermögen, wissen von Zeit. Indem wir beispielsweise einen Gegenstand erblicken und uns später wieder an ihn erinnern, konstituiert sich im Rückblick unser Zeitbewusstsein. „Zeit“ bezeichnet das Nacheinander unserer Erlebnisse. Ihr Maß ist die Angabe des Fortschrittes einer bestimmten Bewegung – beispielsweise der Richtung eines Uhrzeigers, eines Schattenstabes, eines Sterns, eines schwingenden Quarzkristalles. Die Bezugnahme auf die 9 192 631 770-fache Periodendauer der Strahlung, welche beim Übergang zwischen bestimmten Niveaus des Caesium 133-Isotops entsteht, trägt die Kurzbezeichnung „Sekunde“.

Schaut man auf die verschiedenartigen Uhren, ist Zeit eine Zählgröße von ganz verschiedenartigen Bewegungsfortschritten: Umdrehungen, Schwingungen, Weglängen, Generationswechsell, Herzschlägen usw. Die Verschiedenartigkeit möglicher Zeitgeber offenbart Zeit nicht als etwas qualitativ sehr Spezifisches, Einzigartiges, sondern als Abstraktion von Veränderungen überhaupt, wie es für das Erkenntniskriterium, nicht aber für Sinnesempfindungen typisch ist.

Sofern Geschwindigkeit als Quotient aus Weg und Zeit bestimmt wird, werden Raum und Zeit vorausgesetzt, womit eine auf den zugrunde liegenden Raum bezogene Geschwindigkeit erhalten wird. Auch Geschwindigkeitsvergleiche von auf einen Raum bezogenen Bewegungen kommen nicht ohne Definition dieses Raumes aus. (These 24) Mit anderen Worten: Für die Bestimmung räumlicher Größen wie Distanzen oder räumliche Bewegungen sind die Erfahrungen zuerst als „angeordnet in einem Raum“ zu deuten. Nach ihrer Deutung als räumlich angeordnete Phänomene können die der Anordnung im Raum zugrunde liegenden Beobachtungen (beispielsweise Winkel zwischen Richtungen, Laufzeiten, Größen- oder Kontraständerungen - siehe Abbildung 34, Seite 109) als räumliche Größen (Maße des Raumes) gedeutet werden. Die Wirklichkeit der

Geodäten ist ihre eigene Voraussetzung: Erst die Vorstellung des Geodäten, seine Erlebnisse wären im Raum angeordnet, gestattet es ihm, Abstände zu messen.¹⁰⁷

Die Bestimmung der Zeit ist offensichtlich abhängig von der Bewegung eines Zeigers einer mechanischen Uhr, der Sonne oder des Fixsternhimmels. Damit stehen auf beiden Seiten der üblichen Definitionsgleichung der Geschwindigkeit $v = s/t$ Bewegungsfortschritte, der Bewegungsfortschritt v eines Körpers und der Bewegungsfortschritt einer Uhr, wie schon Aristoteles wusste: „Wir messen also nicht nur die Bewegung durch die Zeit, sondern auch die Zeit durch die Bewegung, weil sie einander begrenzen und bestimmen“.¹⁰⁸ Geschwindigkeit ist nach dieser Überlegung kein Quotient unterschiedlicher physikalischer Größen, sondern ein dimensionsloser Zahlenwert. Das konventionelle Verständnis von Geschwindigkeit als Quotient aus Weg und Zeit muss deswegen nicht aufgegeben werden, denn Zeit ist physikalisch gesehen einfach nur eine „unabhängige variable Größe“¹⁰⁹ oder mit Einsteins Worten: „Zeit ist, was die Uhr anzeigt.“¹¹⁰

Wir erleben Veränderungen auf die vielfältigste Art: Etwas wird hell, ein Signal ertönt, ein Gefühl kommt auf. Auch leibliche Bewegung lässt sich empfinden: das Öffnen der Hand, das Wiegen des Getreides im Wind. Die lebendige, aus vielfältigen Wahrnehmungen hervorgehende veränderliche *Zeiterfahrung* entspringt jeden Augenblick neu aus der Bewegung. Im Erleben der vielfältigsten Wandlungen liegt der Grund für die Erfahrung des Nacheinanders – ohne eine gegenwärtige Bewegungswahrnehmung mit einer zeitlich mittelbar gedachten Rückkopplung einer Bewegungserinnerung zu verwechseln. Die Empfindung von Veränderungen, die unabhängig von unseren Wünschen und unserer Konstitution zu sein scheinen, berechtigt anzunehmen, dass Phänomene nacheinander auftreten. In der Erfahrung von Zeit spielen Subjekt und Objekt Hand in Hand: Sie variiert von Fall zu Fall, von Person zu Person. Zeit und Änderungswahrnehmung sind sehr eng miteinander verbunden, so eng wie Bewegung und das Vielfache eines Bewegungsfortschrittes.

7.3.5 Anmerkung zur Umwandlung von Raum in Zeit und vice versa

In populärwissenschaftlichen Darstellungen der ersten Jahrzehnte nach der Entwicklung der Speziellen Relativitätstheorie gab es die Vorstellung, dass bei hohen Bewegungsgeschwindigkeiten der Weg gekürzt oder die Zeit gedehnt würde.¹¹¹ Gibt es aus phänomenologischer Sicht einen Anhaltspunkt für die Umwandlung von Weg in Zeit? Nacheinander und Nebeneinander sind nicht zu verwechseln¹¹² – wir haben eine sichere Empfindung für die Unterscheidung des Nacheinander vom Nebeneinander. Wir können das ursprünglich Gleichzeitige unterscheiden von

¹⁰⁷ Seit 1983 beruht die Definition des Meters als die Strecke, die das Licht im Vakuum in einer Zeit von $1 / 299.792.458$ Sekunden zurücklegt, auf einer Zeitmessung.

¹⁰⁸ Zitiert nach [SCHWARZ 1969] unter: Aristoteles: Physik 220 b, 16 f.

¹⁰⁹ <http://www.chronos-ev.de/atomuhr0.pdf>, 11.7. 2005 und 11.1. 2006. Allerdings könnte man schon darüber nachdenken, wovon Zeit „unabhängig“ ist.

¹¹⁰ Ebd, Trotzdem würde es in der Schulphysik als falsch gelten, wollte man Geschwindigkeit als in der Zeiteinheit zurückgelegten Weg und nicht als Quotient aus zurückgelegtem Weg und dafür benötigter Zeit bestimmen.

¹¹¹ Zu diesem Verständnis hat Einstein selbst beigetragen, siehe [EINSTEIN 1916, § 12].

¹¹² Und was ist mit den aus der speziellen Relativitätstheorie vermuteten und inzwischen experimentell nachgewiesenen Gangunterschieden zwischen einer ruhenden Uhr und einer – im Experiment in einem Langstreckenflugzeug – sehr schnell bewegten Uhr? W. Dustmann zeigt unter Einbeziehung von Veröffentlichungen von Penrose und Terrell, dass „nicht deswegen eine kürzere Zeit angezeigt wird, weil sie während der Bewegung langsamer geht, sondern weil die Dauer ihrer Bewegung kürzer ist als die Ruhephase der Vergleichsuhr.“ Das Uhrenparadoxon lehre uns lediglich, dass es keine universelle Zeit gebe, sondern nur eine individuelle. Die in sich ruhende Erde stelle ein umfassendes Bezugssystem dar, das eine irdische Zeit und einen irdischen Raum festlegt. Letzterer sei als Inbegriff aller geometrischen Bezüge im Umkreis der Erde aufzufassen. Auch ein Objekt, das mit großer Geschwindigkeit durch den irdischen Raum hindurchfliege, sei eigentlich in vollem Sinne nicht mehr in diesem Raum enthalten, es habe stattdessen seinen eigenen immanenten Raum mit eigenen geometrischen Zusammenhängen. [DUSTMANN, 1984], (Penrose, R. 1959 The Apparent Shape of a Relativistically Moving Sphere, *Proc. Cambridge Phil. Soc. Vol. 55* 1959, p. 137 und Terrell, J. 1959 Invisibility of Lorentz Contradiction *Phys. Rev. Vol. 116* 1959, p 1041.) Man beachte: Dustmann spricht über physikalische Größen als Raumkonstituierende, nicht von Sinnesempfindungen.

der konstruierten Gleichzeitigkeit: Mit monokularer ästhetischer Betrachtung erfahre ich keinen Raum mit Gegenständen, sondern ineinander übergehende Sinnesempfindungen. Ich weiß, dass ich Bewegung erlebt habe. Nacheinander (Zeit) und Nebeneinander (Raum) sind also nicht beliebig ineinander konvertierbar.

Obwohl die Sinneserlebnisse gewohnheitsmäßig und damit unbemerkt zu räumlichen Körpern zusammengefasst werden, ist es prinzipiell – und durch willentliche Anstrengung auch tatsächlich – möglich, die Gewohnheiten, Erwartungen, Vorlieben zu überwinden und stattdessen die Qualitäten der noch nicht interpretierten Sinneserlebnisse, also Farben, Helligkeiten, Richtungen, Bewegungen, Geräusche usw., deutlich zu erleben. Nur, wenn man nicht auf die fortwährende Veränderung der Farben und Helligkeiten achtet, werden die Sinnesempfindungen zu Ansichten dreidimensionaler Körper zusammengefasst, zeitlich zu Momenten diskretisiert: Wenn man beim Blick auf eine entfernte Landstraße nicht ausdrücklich auf die Bewegung der Fahrzeuge achtet, stellt man nach einer Weile fest, dass sie sich an anderen Orten befinden. Bewegung kann unmittelbar (also: ästhetisch) beobachtet werden, Raum, Längendistanzen und Zeit sind demgegenüber bereits gedanklich gedeutete Erfahrungen.¹¹³

7.3.6 Differenzierung von Empirie und Interpretation in Bezug auf den Raumbegriff

Welche Sinnesempfindungen evozieren den Begriff des Raumes bzw. bestimmen seine Eigenschaften? Empirische und gedankliche Elemente können wie folgt differenziert werden: Gliedert man das Gesamtfeld sinnlicher Erfahrungen gedanklich nach Erlebnisqualitäten, die voneinander unabhängig variiert und nicht durch andere substituiert werden können und achtet man darauf, welche Sinnesfelder am Zustandekommen eines Ortsraumes beteiligt sind, sind dies Tast-, Bewegungs- sowie Richtungsempfindungen des Gleichgewichts-, Wärme-, Hör- und Sehsinns. Aus diesen Sinnesempfindungen emergieren unter Berücksichtigung der jeweils erfahrenen Qualitäten sowie von Erwartungen, Vorstellungen und Erinnerungen die Begriffe Raum und Zeit. Mit ihrer Deutung als Flächen und Körper entstehen die vielfach hinsichtlich ihres Beitrages am Zustandekommen eines Raumeindrucks untersuchten Merkmale wie Größenverhältnisse, Position im Blickfeld, Texturgradient, Verdeckung, Perspektive und Kontrastgradient (Abbildung 35). Die gedankliche Konstruktion des Raumes beginnt jedoch schon bei der Bildung dieser Sekundärmerkmale aus den unmittelbaren Sinnesempfindungen. Der Begriff des Raumes fasst die nacheinander (Bewegungssinn) und in verschiedenen Richtungen (Richtungssinn) erfahrenen Sinneserlebnisse durch die gedankliche Konstruktion eines dreidimensionalen Raumes zu einem verständlichen System zusammen. Mit der Bildung des Raumbegriffes geht die Interpretation der Sinnesempfindungen mit diesem Begriff einher: Integration zu einem „Augenblick“, Auswahl, Unterscheidung von Vorder- und Hintergrund. Begriff und Sinnesempfindungen „organisieren sich selbst“. Die Raumentstehung kann man mit folgenden Worten prägnant artikulieren: Raum entsteht mit der Deutung der Sinnesempfindungen als gegenständliche Dinge.¹¹⁴ (These 23)

Lutzker macht deutlich,

„daß es eine angeborene Grundlage für die zeitliche Integration von Phänomenen in einem Sinnesmodus über die einzelnen Sinnesmodi hinaus gibt. Diese Fähigkeit, sinnesübergreifende Wahrnehmungen zeitlich zu integrieren, beruht auf der normalen Kohärenz äußerer Phänomene, d. h. auf der Tatsache, daß z. B. Lippenbewegungen und Stimme in der gesprochenen Sprache zeitlich übereinstimmen.“ [LUTZKER 1996, S. 166]

¹¹³ Eine bekannte Interpretation von Bewegungen als Länge ist jenes des Meters: Es ist seit 1983 als diejenige Strecke definiert, die das Licht im Vakuum während 1/299.792.458 Sekunden zurücklegt.

¹¹⁴ Leibnitz: Unabhängig von den Dingen gibt es keinen Raum. [STÖCKLER 1996] Einstein setzt Raum bereits voraus, da er sich bei seinen geometrischen Beschreibungen des Raumes, wie er sich aus physikalischen Messungen ergibt, konsequent auf Relationen zwischen „festen Körpern der Erlebniswelt“ bezieht. [SCHWARZ 1969, S. 33]

Es liegt nahe, anzunehmen, dass dieselbe Fähigkeit zur sinnesübergreifenden Integration auch der Bildung des Raumes zugrunde liegt. Die Bildung des aktuell gültigen Raumes ist dann ein Vorgang der simultanen synästhetischen Integration zeitlich geordneter Sinneserlebnisse. Objektseitig sind die (geometrischen und sonstigen) Eigenschaften des gedanklich konstruierten Sinnesraumes durch die erfahrene Reihenfolge der Sinneserlebnisse, die erlebten Bewegungen und Richtungen, deren Synchronität mit anderen Sinneserlebnissen (Geräusche, Gerüche, Farben, Wärme) sowie die Identsetzung (verschiedene Sinnesempfindungen werden als zu einem Ding gehörig identifiziert) und auch durch Gewohnheiten, Erwartungen und Vorlieben bestimmt.

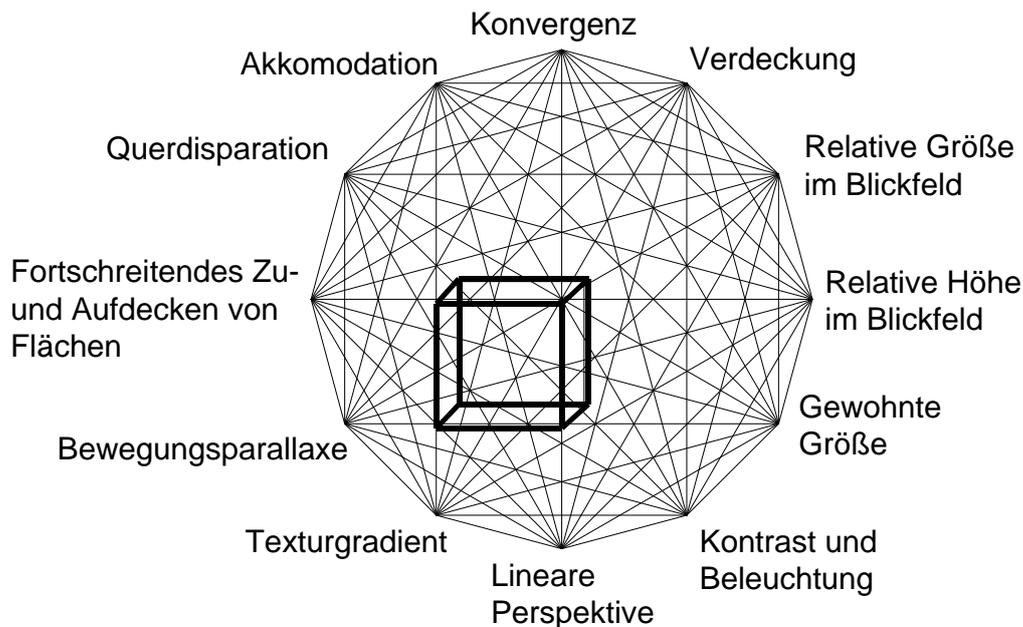


Abbildung 34 Die Bildung des Raumeindrucks. Die räumliche Wahrnehmung ist ein Produkt der aktiven Verbindung, insbesondere der Farb-, Form- und Richtungsempfindungen. Raumeindruck emergiert aus der Zusammenwahrnehmung des Raumbegriffes und der nach ihm zu Gestalten zusammengefassten Sinnesempfindungen (Textur, Perspektive, Größenverhältnisse, Verdeckung, Schatten) sowie okulomotorischen und bewegungsinduzierten Tiefenkriterien und der Querdisparation. Dabei werden die etwas unterschiedlichen Bilder, die das linke und das rechte Auge vermitteln, zu einem räumlichen Eindruck verschmolzen. (Quelle: [DONNER 2001])

7.3.7 Die geometrischen Grundelemente des Erfahrungsraumes

Geometrische Figuren verwandeln sich durch meine eigene Leiblichkeit wieder in etwas Bewegungshaftes: Der Kreis in Abbildung 35 regt an, ihn durch die Bewegung der Augen innerlich nachzubilden, seiner Linie nachzulaufen. „Alles Figürliche, alles Lineare, alles, was Ausdehnung hat, Länge, Breite, Tiefe, alle Flächen und Kanten nehmen wir vornehmlich mit unserem Gleichgewichtssinn und Bewegungssinn wahr.“ [AEPPLI 1996, S. 46 mehrere Aufsätze und Vorträge Steiners zusammenfassend] Der Begriff der Geraden kann als statisches Gebilde auf das Erleben der aufrechten Körperhaltung und die Gerade als Bewegungsgebilde auf die Tätigkeit des Bewegungssinnes gegründet werden. Sieht man eine Gerade, erlebt man eine bestimmte Qualität der Augenbewegung, siehe Abbildung 35 rechts oder Abbildung 17 auf Seite 34. An dieser Qualität der Bewegung werden Geraden in der sinnlichen Erfahrungswelt erkannt:

„Um zu wissen, ob eine Linie wirklich gerade oder ein Kreis wirklich gleichmäßig gekrümmt ist, müssen wir sie mit etwas vergleichen können. Gleichgültig nun, welches Hilfsmittel wir heranziehen, ob den Parallelensatz oder Geräte wie Lineal, Zirkel usw. – die Kontrolle, ob diese Mittel wirklich mit Erfolg eingesetzt worden sind, wird in letzter Instanz immer nur durch den Gleichgewichtssinn selbst ausgeübt [...] Sämtliche Hilfskonstruktionen und -mittel, welche für den Beweis der Geraden herangezogen werden, sind wie gesagt niemals per se beweisend, sondern allein durch zusätzliche Anregung des Gleichgewichtsempfindens. [...] Von diesem Gesichtspunkt aus gibt es also keine Konstruktion der Geraden ohne eine statische Empfindung: Die [sinnlich wahrnehmbare – d. Verf.] Gerade ist eine reine, elementare Sinnesqualität, ein Axiom. Das Entsprechende gilt auch für alle übrigen mathematisch-geometrischen Figuren und Axiome. [...] Wir begegnen damit in den Axiomen der Geometrie ir-

reduzierbaren Empfindungen, die auf keine grundlegendere Erfahrung rückföhrbar und durch keine andere Wahrnehmung näher erklärbar sind. Was gerade ist, kann man erleben, aber nicht erklären oder gar beweisen. Die Sinnesempfindung ist hier der letzte faßbare Realgrund für die Geometrie.“ [SCHEURLE 1984, S. 115]

Die Nominaldefinitionen „gerade“, „punktförmig“ oder „eben“ verweisen in Bezug auf die sinnliche Erfahrungswelt auf diese nicht hintergehbaren Sinneserfahrungen. „Gerade“ ist in diesem Sinne eine Kurzbezeichnung für eine bestimmte Bewegungsqualität.

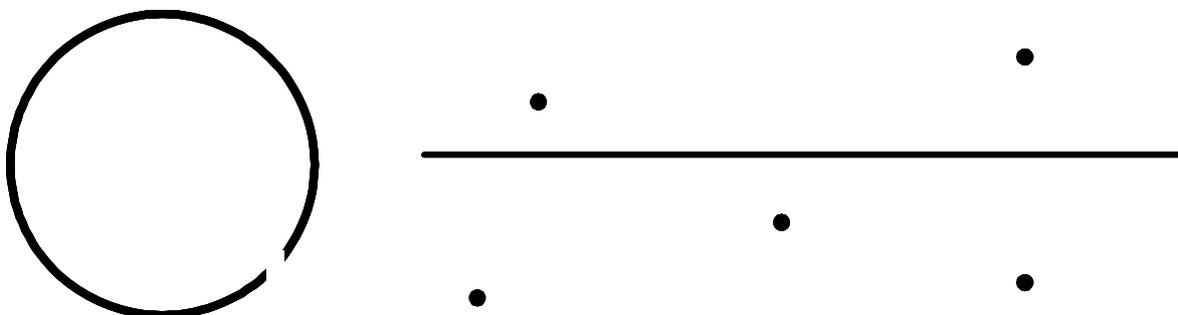


Abbildung 35 Sinnliche Erfahrung geometrischer Axiome. Beim Betrachten erlebt man bestimmte Bewegungsqualitäten: Die gleichmäßige Rundung oder die Gerade. Die Erfahrung verschiedener Richtungen erfolgt mit dem Richtungssinn oder innerhalb des Sehfeldes mit dem Sehsinn: Die Punkte werden in verschiedenen Richtungen erlebt.

Die axiomatische Geometrie kommt ohne Erfahrung aus, indem sie die Inhalte der Grundbegriffe indirekt als dasjenige bestimmt, was vorgegebenen Bedingungen genügt. (Dadurch können beispielsweise *Großkreise* der Kugel als Gerade bezeichnet werden¹¹⁵.) Für die Beschreibung von Erfahrungstatsachen mit geometrischen Begriffen muss festgelegt werden, welche Erfahrungen welchen geometrischen Begriffen quivalent sein sollen. Die Sinnesqualitäten (gerade, eben, punkthaft, aufrecht, nebeneinander) sind das Bindeglied zwischen der axiomatischen Geometrie und den Erfahrungen: An der Augenbewegung erlebe ich, ob eine Kante gerade ist oder nicht. Natürlich können auch andere Erfahrungen mit der Geometrie beschrieben werden. Einstein verband nicht Sinneserfahrungen, sondern physikalische Groen, genauer: das Verhalten fester Körper bezüglich ihrer Lagerungsmöglichkeiten, mit der dreidimensionalen euklidischen Geometrie (Vergleiche [EINSTEIN 1916, §. 2 u. S. 90], [EINSTEIN 1921]).

Der Begriff der Ebene wird mithilfe des Gleichgewichtssinnes auch im konkreten Erleben von links und rechts im menschlichen Körper gebildet: „Aus dem Gegensatz von Leichte und Schwere im Aufrichten bildet sich die Oben-Unten-Richtung als ursprüngliche Sinnesempfindung. In der Mittellage, im Ausgleich zwischen Last und Leichte, liegt die Ebene, in der wir weder fallen, noch steigen.“ [SCHEURLE 1984, S. 109] Und: Der Gleichgewichtssinn lässt (auch im Sehfeld) Richtungen unterscheiden. Die geometrischen Axiome können also dank der Empfindungen insbesondere des Gleichgewichts- und des Bewegungssinnes sowie der „Zweidimensionalität des Sehfeldes“ [GOSZTONYI 1976, S. 806] in den Erfahrungen wiedergefunden werden. Die Sinnesempfindungen sind ohne Körperwelt und ohne Raum erfahrbar.

Die Rckföhrung der geometrischen Axiome auf Sinneserlebnisse, wie es oben unter Berufung auf Scheurle dargestellt wurde, macht deutlich, dass der geometrische Raum nicht nur aus unterschiedlichen Orten besteht, sondern dass auch Geraden und Ebenen sowie ungleichmäßige oder gleichmäßige Krümmungen erlebt werden können. Das kann auch im mathematischen Verständnis seinen Ausdruck finden: Geraden und Ebenen nicht nur als aus Punkten zusammengesetzt zu denken (Punktreihe und Punktfeld), sondern als etwas Ungeteiltes.

¹¹⁵ Vergleiche auch: „Zu den *Kreisen*, die durch die reziproken Pole gehen, gehört natürlich auch ihre Verbindungs*gerade*, die infolge des eben ausgesprochenen Satzes ein Durchmesser des Grundkreises sein muß.“ [KLEIN 1926, S. 44] [Hervorhebung: Autor]

Für die Bestimmung des physischen Raumes sollte deutlich geworden sein, dass er durch die Geometrie nicht a priori bestimmt werden kann: Auch wenn von elementaren Erfahrungen ausgegangen wurde (siehe folgenden Abschnitt), ist die Geometrie ein verselbstständigtes Gedankenkonstrukt: Eine Gerade Euklids findet sich im Erleben ebenso wenig wie eine geradlinig-gleichförmige Bewegung, wie Einstein sie verwendet. Spätestens „mit der Entdeckung der nicht-Euklidischen Geometrie wurde klar, daß von Seiten der Logik und Mathematik es keine a priori-schen Mittel gab, um zu entscheiden, welche Art von Geometrie tatsächlich die räumlichen Beziehungen zwischen physikalischen Körpern darstellt.“ [JAMMER 1980, S. 163]

7.3.8 Geometrie des sinnlichen Erfahrungsraumes

Die bisherige Begriffsbestimmung ergab Raum als einen gedanklichen Betrachtungswinkel, der nacheinander erfahrene Beobachtungen durch eine Deklaration der Gleichzeitigkeit zu einem Nebeneinander zusammenfasst. Der Begriff des Raumes ist in der unpräzisen Allgemeinheit, wie er bisher gefasst wurde, offen, sein Potenzial als Erkenntnismittel zu entfalten, indem er situationsgemäß spezifiziert wird. Dies soll in zwei Richtungen erfolgen: Aufgrund der Sinneserfahrungen und aufgrund physikalischer Messungen.

Eine mathematische Beschreibung und Spezialisierung des philosophisch weiten Raumbegriffes kann die konkreten zum Raum zusammengefassten Erfahrungen strukturieren und mathematischen Behandlungen zugänglich machen, denn „der Geometrie kommt die Aufgabe zu, in die ungenaue Sinnesempfindung genaue Aussagen hineinzulegen“ [KLEIN 1923]. Die Entfaltung der Idee des Raumes in sich gegenseitig tragende geometrische Gebilde und Beziehungen ist in den folgenden Absätzen die Aufgabe des Geometers, beginnend mit der Ordnung der Sinneserfahrungen durch die Begriffe von Raum und Zeit.

- (17) Versuchen Sie, Ihre Hand (ohne optische Hilfsmittel) so zu betrachten, dass sie zehn Schritte entfernt erscheint oder hinter der nächsten Wand und von der rückwärtigen Seite betrachtet.
- (18) Nehmen Sie irgendein Bild, zerschneiden es in Rechtecke, legen Sie die Teile in zufälliger Anordnung zu einer Fläche des ursprünglichen Formates zusammen, und vergleichen Sie dieses Zufallsmosaik mit dem Original: Können Sie beide unterscheiden?

Diskussion

Die Erfahrung lehrt: Abstände, Reihenfolgen und Richtungen sind objektbedingt, nicht willkürlich. Raum ist als Interpretation der Erfahrung nicht so willkürlich gewählt wie die Interpretation der „Rubin’schen Vase“ als Vase oder Gesichter. Die Erfahrungen legen es nahe, Raum und Zeit so zu bilden, dass die Sinneserlebnisse aus bestimmten raumzeitlichen Konstellationen hervorgegangen sein könnten. Die Bewegung hat die Erlebnisse in einer bestimmten Reihenfolge erfahren lassen. Kontext, Wiederholungen und Redundanz zwischen den Beobachtungen schließen Mehrdeutigkeiten nach und nach aus. Die Dinge haben einen bestimmten, nicht einen beliebigen Abstand voneinander; sie befinden sich in einer bestimmten Richtung. Raum ist genauer bestimmt, als allein ein Nebeneinander zu sein.¹¹⁶ Daher soll nun geklärt werden, was Raum noch ist, außer ein „Nebeneinander“: Was ist objektseitig bestimmt, was unterliegt nicht unserer willkürlichen Interpretation? Auf welche nicht interpretierten, ursprünglichen Sinnesempfindungen können wir uns bei der Bildung des Raumbegriffes stützen?

¹¹⁶ Zu dem Ergebnis, dass topologische Raumbegriffe nicht genügen, gelangt auch Riedrich [RIEDRICH 2002].

Zur Konsistenz geometrischer Begriffe

- (19) Es werden zwei Reihen von Fluchtstäben aufgestellt, von verschiedenen Seiten und Entfernungen, beim Durchschreiten sowie aus der Bewegung beobachtet, ihre Abstände untereinander und zum Beobachter mit Körpermaßen bestimmt und ihre Größen verglichen.

Diskussion

Distanzen werden perspektivisch, parallaktisch (durch Verschiebung der Gegenstände gegeneinander bei Bewegungen des Kopfes), stereoskopisch und taktil erfahren. Dabei zeigt sich, dass taktil als gleich groß erfahrene Entfernungen als unterschiedlich große gesehen werden. Anders ausgedrückt, wird eine Selbstverständlichkeit deutlich: Nicht alle Erfahrungen können unter einen Begriff zusammengefasst werden, unterschiedliche Beobachtungsmethoden führen zu widersprüchlichen Ergebnissen. Das wird mit der folgenden Beobachtung vertieft.

- (20) Vor einem senkrechten ebenen Spiegel werden mehrere Kerzen aufgestellt. Sie und ihre Bilder werden gezählt, aus verschiedenen Richtungen und aus der Bewegung beobachtet sowie selbst bewegt und während der Bewegung beobachtet. Dann werden die Beobachtungen unter Verwendung eines Wölbspiegels wiederholt.

Diskussion

Die Erfahrungen am ebenen Spiegel lassen Tast- und Seherfahrungen ebenfalls auseinander brechen. Im Spiegel ist sichtbar, was nicht ertastet werden kann, an der spiegelnden Fläche kann ertastet werden, was nicht gesehen werden kann. Aber an den Beobachtungen mit Spiegeln zeigt sich die Konstitution der Körper von den Erfahrungen des Tastsinnes: Im Tasten spüren wir Widerstand. Widerstand heißt zugleich Gegenstand. Die Vergegenständlichung ist maßgeblich eine Funktion des Tastsinnes. Seine Synästhesien führen zu bildlichen, gedanklichen oder akustischen Gegenständen. Während am ebenen Spiegel beim Blick in den Spiegelraum die drei Arten des Sehens noch unverändert bleiben, fallen am Wölbspiegel auch stereoskopische und perspektivische Entfernung auseinander. Zur Erfahrung des Auseinanderfallens von Tast- und Sehraum findet sich bei [SOMMER 2004, S. 37 f.] der folgende anschauliche Versuch.

- (21) „Sie stellen sich so auf, dass sie von dem leeren Eimer gerade nicht mehr den Boden sehen, und behalten ihre Position während des Versuches bei. Mit dem Eingießen des Wassers erscheint der Boden in ihrem Blickfeld. – Die räumliche Stellung des Eimers hat sich nicht geändert, seine Tastlage bleibt fest. Indem Wasser eingegossen wird und man auf den Boden blickt, verschiebt sich der gesehene Ort des Bodens bezüglich dessen Tastlage. Sehraum und Tastraum sind nicht mehr identisch.“

Von den Umkippbildern wissen wir, dass ein und dasselbe physische Objekt mit sich ausschließenden alternativen Begriffen interpretiert werden kann: Vase oder Gesichter in Abbildung 10, Seite 20. In (21) ist es die Metrik, die sich unterscheidet, je nachdem, ob tastende oder sehende Beobachtungen herangezogen werden. Taktil ergeben sich andere Entfernungsverhältnisse als durch das perspektivische Sehen. Es liegt daher nahe, bei den über die projektive Geometrie hinausgehenden Präzisierungen des Raumes danach zu differenzieren, ob er die Konfiguration von Gegenständen so zusammenfasst, wie sie sich aus der räumlichen Ordnung von Tastwahrnehmungen, aus perspektivischem, parallaktischem oder stereoskopischem Entfernungssehen, aus instrumentellen Beobachtungen oder relativistischen Überlegungen ergibt. Wenn wir an der Begründung der Geometrie durch unsere Erfahrungen festhalten, bekommen wir also Räume mit verschiedenen metrischen Eigenschaften:

- (22) Wir können die Erfahrung machen, dass der kürzeste Abstand zwischen zwei Punkten durch eine Gerade bestimmt ist. Auch lässt sich zu einer vorhandenen Gerade durch einen Punkt außerhalb dieser eine weitere Gerade erzeugen und mehrfach, beliebig oft, verlängern, die auf ihrer gesamten Länge einen festen Abstand hat. Und wir können die Erfahrung machen, dass sich eine Gesamtstrecke als Summe der Teile, also additiv, berechnen lässt.

Die an letztlich immer begrenzten Strecken gesammelten Erfahrungen machen plausibel, dass die von Euklid begründete Geometrie als „erfahrungs begründet“ bezeichnet wird: „Das Axiomensystem bei Euklid ist nicht willkürlich gewählt, sondern eine Abstraktion aus der jahrtausendelangen täglichen Erfahrung und Produktionspraxis des Menschen“.¹¹⁷ Da die zugrunde liegenden Erfahrungen aus dem ertastbaren Nahbereich stammen, kann die dazugehörige Geometrie als „Geometrie des Tastraumes“¹¹⁸ bezeichnet werden. Berücksichtigen wir auch, dass für die Verhältnisse der Seiten eines rechtwinkligen Dreieckes der Satz von Pythagoras unseren Erfahrungen entspricht, ergibt sich in der begrenzten Ebene die euklidische Metrik.¹¹⁹ Der Sehraum ermöglicht andere Erfahrungen:

- (23) Parallele Baumreihen berühren sich im Horizont. Die Abstände zwischen den Bäumen, wie die Bäume selbst, werden immer kleiner, die Gesamtlänge der Allee hat ein absehbares Ende; so etwas wie eine unendliche Ferne kann ich nicht beobachten, auch wenn ich den Blick in den Sternhimmel richte. In jeder Richtung, in welcher ich die Allee ansehe, ergeben sich scheinbar unterschiedliche Schnittpunkte.

Oder:

- (24) „Die sichtbare Ausdehnung des Körpers hängt von der Perspektive ab. Sie ist fortwährenden Verwandlungen unterworfen. Eine sichtbare Erscheinung nimmt ihren jeweiligen Anteil am Gesichtsfeld ein. Ihr kommt keinerlei Größenmaß zu.“ [MAIER 1977]

Eine besondere Rolle spielt das beidäugige Sehen, wie in einem von Maier angegebenen Versuch leicht erfahren werden kann:

- (25) Ein Bleistift, mit zwei Augen angeschaut, zieht die ganze Aufmerksamkeit auf sich, das Gesichtsfeld in seiner Umgebung wird kaum bemerkt. Einäugig betrachtet verschmilzt er dagegen mit seiner Umgebung. Er geht im Hintergrund unter. Bewegt man den Bleistift auf sich zu und von sich weg, etwa zwischen 20 und 60 Zentimeter Abstand, fällt ein Weiteres auf: Bei einäugiger Betrachtung verändert sich seine Größe mit dem Abstand: Wenn der Stift näherkommt, wird er größer. Wenn beide Augen den Bleistift verfolgen, scheint er seine Größe zu behalten, obwohl sich sein Abstand deutlich ändert.¹²⁰ [MAIER 1986]

Die Geometrie der stereoskopischen Nahsicht entspricht damit hinsichtlich der Größenkonstanz der Geometrie des Tastraumes. Aber hier spielt die Gegenstandsbildung eine entscheidende Rolle: „Je stärker ein Raum gegenständlich ausgefüllt ist, desto besser wird die Sehgrößenkonstanz realisiert.“ [KIENLE 1968, S. 82] Wenn darauf geachtet wird, phänomenale Größen zu beobachten, „besagen die Versuche zum Parallelenaxiom übereinstimmend, daß für den Sehraum nicht das Parallelenaxiom von Euklid, sondern das hyperbolische Parallelenaxiom gültig ist.“ [KIENLE 1968, S. 85]

- (26) Wir stehen auf einer hohen Brücke und sehen unter uns einen schnurgeraden Kanal fließen. Seine Ufer laufen unter uns parallel und geradlinig, im Norden wie im Süden auf je einen Punkt zu. [ECKINGER 1964]

¹¹⁷ *Kleine Enzyklopädie Mathematik*. 2. Auflage Leipzig 1967, S. 761.

¹¹⁸ Angeregt zu einer Unterscheidung zwischen einer Geometrie des Tastraumes und einer des Sehraumes wurde ich durch Berkeley, der die Unterscheidung zwischen den Empfindungen des Tastsinnes und des Seh sinnes ausführlich empirisch begründet [BERKELEY 1609], in Bezug auf die Größe in den §§ 52 ff. Auch Goethe [GOETHE 1810, Bd. IV S. 209], Steiner [STEINER 1886], Scheurle [SCHEURLE 1984] und Maier [MAIER 1977] legen ausdrücklich Wert auf eine Differenzierung zwischen beiden. Sie legen Wert auf die unterschiedlichen Qualitäten der Sinnesempfindungen und sehen den Raum begriff maßgeblich geprägt durch die Erfahrungen des Tastsinnes.

¹¹⁹ Genauer gesagt resultiert die Gültigkeit der euklidischen Geometrie aus der bei Längenmessungen zugrunde gelegten Größeninvarianz der Maßstäbe gegenüber Translation und Rotation.

¹²⁰ In beiden Fällen wird die physikalische Größe zutreffend als konstant eingeschätzt, zumindest solange weitere Tiefenkriterien mitbeobachtet werden können. Vergleiche [GOLDSTEIN 1997, S. 237].

Die Parallelen schneiden sich in zwei Fernpunkten. Damit lassen sich die mit unterschiedlichen Sinnesempfindungen gewonnenen Erfahrungen nicht zur euklidischen Geometrie zusammenfassen.

Zusammenfassend: Beobachtet man die sinnlich erfahrenen geometrischen Erlebnisqualitäten (gerade, eben, punkthaft) der als Körperraum gedeuteten Sinneserlebnisse in verschiedenen Konstellationen, so lassen sich die damit verbundenen Erfahrungen (Geraden bleiben Geraden, Parallele schneiden sich in der Ferne) mit der projektiven Geometrie mathematisch beschreiben. Untersucht man die visuell erfahrenen Formverhältnisse *vor* ihrer Deutung als Körpergrößen, lassen sie sich mit der hyperbolischen Geometrie fassen. Die Erfahrungen des Tastraumes (z. B. Gültigkeit des Satzes des Pythagoras und des Superpositionsprinzips) können hingegen mit der euklidischen Geometrie beschrieben werden. Unverändert bleibt die Größe eines Gegenstandes auch bei zweiäugiger Betrachtung im Nahraum. (These 25)

7.3.9 Zusammenfassung: Entstehung eines Raumeindrucks

Raum und Zeit sind Begriffe, mit denen die Sinnesempfindungen als zu einem System gehörig gedanklich geordnet werden können. Für die Einordnung in Raum und Zeit werden drei Gruppen voneinander unterschieden: 1, auf ein Gegenüber gerichtete Sinnesempfindungen werden insbesondere mithilfe des Tastsinnes und seinen Synästhesien von gedanklichen und Behagensempfindungen unterschieden. Wo die Grenze zwischen Selbst und Sinneswelt aktuell liegt, richtet sich nach der Intention des Beobachters: Auf der Haut, im Inneren des Leibes, vor der Gardine, auf der Straße sind einige Beispiele für Kriterien, nach denen die Zuordnung zur Gruppe „Gegenüber“ getroffen werden kann. 2, die auf das Gegenüber bezogenen Sinnesempfindungen werden danach weiter unterteilt, ob sie durch Anordnung nebeneinander oder durch Anordnung als Folge ein Ganzes ergeben. Beispielsweise werden Hörempfindungen der Gruppe „Nacheinander“ zugeordnet, womit eine Melodie wahrgenommen werden kann. Die Zuordnung zur Gruppe „Nebeneinander“ sowie die Ordnung innerhalb dieser Gruppe geschehen unter maßgeblicher Berücksichtigung der Bewegungsempfindungen und des Gleichgewichtssinnes.

Sinnesempfindungen, welche sich weder auf das eigene Behagen noch auf gedankliche Inhalte beziehen (Tast-, Bewegungs-, Gleichgewichts-, Geruchs-, Geschmacks-, Farb-, Wärme-, Ton- oder Lautsinn) werden für die Bildung des Raumes gedanklich zu einem statischen Nebeneinander integriert. Mit der Bildung des Raumbegriffes geht die Interpretation der Sinnesempfindungen entsprechend diesem – in der Entwicklung befindlichen – Begriff einher: Auswahl, Unterscheidung von Vorder- und Hintergrund. Zu dieser Ordnung, entsprechend dem Raumbegriff, gehört auch die Auswahl derjenigen Sinnesempfindungen, die – obwohl nur teilweise gleichzeitig beobachtet – zu einem Raumeindruck zusammengefasst werden. Begriff und Sinnesempfindungen „organisieren sich selbst“.¹²¹ Die Zusammenwahrnehmung (Synästhesie) des Raumbegriffes und der nach ihm geordneten äußeren Sinnesempfindungen wird als Raumeindruck erlebt und bezeichnet. Raumeindruck emergiert aus der Zusammenwahrnehmung des Raumbegriffes und der nach ihm geordneten Sinnesempfindungen. Auf diese Weise werden sie in einen allgemeinen Zusammenhang gebracht. Dieser allgemeine Zusammenhang ist die Zugehörigkeit zum Raum. (Das Herstellen weiterer gedanklicher Beziehungen ist Sache des fortschreitenden Erkenntnisprozesses.)

¹²¹ Dabei gibt es immer einen Teil, dessen Einheit mit seiner Umwelt erhalten und einen anderen, dessen Einheit geopfert wird: Lautet die Wahrnehmung „das Ding hat sich verändert“ (der Apfel wird rot), bleibt die Identität beim Ort, das am Ort befindliche Ding (bzw. dessen Zustand) wird geopfert, wir erkennen ein Nacheinander. Interpretieren wir dieselbe Beobachtung im Sinne von „das Ding hat seinen Ort geändert“, bleibt die Identität bei dem Gegenstand, der Ort wird geopfert – die Entscheidung, welcher begrifflichen Bestimmung wir den Vorzug geben, dem Raum, der Zeit oder einer Kombination, ist, abgesehen vom Kontext, nicht sachlich begründet. Man sieht daran, dass es nicht durchgehalten werden kann, nur der Wirklichkeit zuzuerkennen, was sich widerspruchlos in ein Ganzes fügen lässt. Alternative begriffliche Beschreibungen haben ihre je eigene Gültigkeit.

Das hier zum Zweck der Beschreibung sequenziell Dargestellte ist treffender als Selbstorganisationsprozess zu denken: Die Spezialisierung der allgemeinen Begriffe „Nebeneinander“ und „Nacheinander“ gemäß den aktuellen Sinnesempfindungen geschieht in Abhängigkeit davon, wie die Sinnesempfindungen mit ihnen räumlich und zeitlich geordnet werden können. Räumliches Tiefensehen setzt voraus, dass die Sinneseindrücke als plastische Gestalten interpretiert werden können. In zahlreichen Untersuchungen wurden Einflüsse einzelner Merkmale von bereits zu Gestalten zusammengefassten Sinnesempfindungen (Textur, Perspektive, Größenverhältnisse, Verdeckung, Schatten) sowie okulomotorische und bewegungsinduzierte Tiefenkriterien und der Querdisparation auf die Bildung eines Raumeindrucks festgestellt (siehe [GOSZTONYI 1976, S. 794 ff.], [MAC EACHREN 1995, S. 137–139], [GOLDSTEIN 1997, S. 215–234], [SCHUMANN & MÜLLER 2000, S. 109 ff.], [DONNER 2001], [WARE 2004, S. 259 ff.]).

Bei jeder auf Erkenntnis gerichteten Wahrnehmung kommt es darauf an, einen Zusammenhang zu finden oder zu bilden, der die Sinnesempfindungen zu einem Ganzen verbindet oder in das Verständnissystem einordnet (siehe Kapitel 4). Der Zusammenhang kann eine äußere Form sein, wie die Gestaltpsychologie annimmt, er kann eine Bewegungsform sein, er kann eine Melodie oder ein Gedanke sein. Einige Beispiele für die Bildung solcher Zusammenhänge waren bereits angeführt: Der gedachte Kreis in Abbildung 11, Seite 28, als Beispiel eines begrifflichen Zusammenhanges, der Kreis in Abbildung 17, Seite 34 ist Beispiel für eine Bewegungsform, die Rubinische Vase in Abbildung 10, Seite 20 oder das Verstehen eines Satzes in Abschnitt 4.1.6 sind weitere Beispiele für gedankliche Zusammenfassungen. Entscheidendes Kriterium für die Zuordnung zu den Gruppen „außen“ beziehungsweise „nebeneinander“ oder „nacheinander“ ist, ob sich die Sinnesempfindungen auf diese Weise zu einem gedanklichen Zusammenhang ordnen lassen. Die Kriterien „nebeneinander“ oder „nacheinander“ sind so universell, dass jede Sinnesempfindung der Gruppe „außen“ der einen, der anderen oder beiden zugewiesen werden kann. Die nebeneinander angeordneten Sinnesempfindungen bilden Raum, die nacheinander angeordneten eine zeitliche Folge. Es wurde gezeigt, dass die Empfindungen einer Bewegung und des Gleichgewichtssinnes sowie die Erlebnisse des zweidimensionalen Sehfeldes maßgeblich die Verortung in Raum und Zeit bestimmen. Synchron erfahrene Sinnesempfindungen – etwa der Farbe oder eines Geräusches – werden aufgrund der Erlebnisse des Gleichgewichts- und des Bewegungssinnes „verortet“.

Mit den Begriffen Raum und Zeit kommt zu den nicht gedanklichen Sinnesempfindungen ein erster Zusammenhang hinzu. Daher kann man sagen, dass Raum und Zeit begriffliche Relationen sind, mit denen nacheinander erfahrene und auf ein Gegenüber bezogene Sinneserlebnisse in Beziehungen des „gleichzeitigen Nebeneinander“ oder des „Nacheinander“ gesetzt werden, um sie in einen gedanklichen Zusammenhang zu bringen (These 27). Für die Bildung dieses Zusammenhanges werden die auf ein Gegenüber gerichteten Sinnesempfindungen danach beurteilt, ob sie als gleichzeitig existierend gedacht werden können. Wenn ja, konstituieren sie Raum, im Falle leiblich erlebter Bewegung geometrischen Raum, wenn nein, konstituieren sie Zeit. So kann beispielsweise eine Bewegung von A nach B mit der Relation „nebeneinander“ als Weglänge oder mit der Relation „nacheinander“ als Ereignisfolge interpretiert werden. Um A und B mit der Relation nebeneinander zu verbinden, werden die Ereignisse A und B per Deklaration als gleichzeitig existierend betrachtet. Die Relation „nacheinander“ verbindet A und B gedanklich als Folge. Nebeneinander und Raum sowie nacheinander und Zeit sind darin synonym. Durch die Interpretation erlebter Bewegung (ich bewege mich von A nach B) als räumlicher Weglänge (AB) wird Bewegung als Raum interpretiert.

7.4 Physikalisch begründete Raumkonzeptionen

Für einen Techniker sind physikalisch begründete Konzepte von Raum und Zeit von besonderem Interesse, da in ihnen alle physikalischen Vorgänge spielen. Geodäsie und Geoinformatik basieren auf *physikalisch* begründeten Raumkonzepten.

Physikalische Beobachtungen gründen bereits auf bestimmten weltanschaulichen Vorstellungen, insbesondere von Raum und Zeit. Wie gezeigt, entstehen Zeit und Raum mit der Deutung der Sinneserlebnisse als Körper und Prozesse. Die Physik beginnt erst nach der Deutung der Sinnesempfindungen als Körper und Prozesse im Raum. (Sie ist eben nicht Phänomenologie, sondern bereits interpretierte Erfahrung, vgl. Abschnitt 6.5). Daher stehen die Begriffe Raum und Zeit in einer Doppelfunktion: Sie sind Voraussetzung für physikalische Untersuchungen und gleichzeitig ihre exakten Eigenschaften erst deren Ergebnis.¹²²

7.4.1 Überblick

Mit der Fortentwicklung der Physik hat sich der Raumbegriff gewandelt. Die bedeutendsten physikalischen Raumkonzepte sind jene von Newton und Einstein. Newton begründete seine Annahme eines absoluten Raumes auf das Eimerexperiment. In einem mit Wasser gefüllten Eimer stellt sich eine ebene Wasseroberfläche ein. Wird der Eimer um seine vertikale Achse gedreht, so bildet sich eine parabelförmig gekrümmte Oberfläche aus. Auf diese Weise kann die Drehung des Eimers festgestellt werden, ohne sich auf ein anderes Objekt beziehen zu müssen. Newton argumentierte daher, dass die Rotation des Eimers relativ zu einem absoluten Raum stattfände. Seine Begründung ist jedoch nur eine mögliche Interpretation dieses Experimentes. Das zeigt eine alternative Interpretation der Durchwölbung der Wasseroberfläche aus der Wirkung ferner Massen („Mach’sches Prinzip“). Nach dieser Sichtweise ist ein absoluter Raum nicht mehr erforderlich. Im Gegenteil, Ernst Mach (1838–1916) nahm an, dass der Raum erst durch die Materie erzeugt würde. Kein Raum könnte ohne Materie existieren. Newton und Mach ist gemeinsam, dass sie aus einer Beobachtung auf die Eigenschaften des Raumes folgern. In der Speziellen Relativitätstheorie ist der Raum zwar vom Beobachter abhängig, nicht jedoch von den physikalischen Vorgängen in ihm. Er ist immer noch für jeden Beobachter euklidisch. Das ändert sich in der Allgemeinen Relativitätstheorie. In dieser wird die Gravitation durch die Krümmung der Raumzeit beschrieben, welche auch eine Krümmung des Raumes bedeutet. Die Geometrie der Raumzeit hängt vom Energie-Impuls-Tensor, also von den im Raum vorhandenen Teilchen und Feldern ab. Der Raum ist daher nur noch lokal euklidisch. Moderne Theorien zur Raumzeit haben das Ziel, die Gravitation mit den anderen Grundkräften zu vereinigen, fügen der Raumzeit zusätzliche Dimensionen hinzu. Diese zusätzlichen Dimensionen sind allerdings nicht, wie die bekannten vier Raum-Zeit-Dimensionen, ins (beinahe) unendliche ausgedehnt; vielmehr sind sie von einer Ausdehnung von weniger als einem Atomkerndurchmesser. Zusätzlich nimmt man an, dass sie periodisch ‚aufgerollt‘ sind. Das läuft darauf hinaus, Raum mit seinen Eigenschaften nicht als etwas Gegebenes zu postulieren, sondern ihn in einer umfassenden Theorie gemeinsam mit den bekannten Grundkräften und Elementarteilchen zu begründen.¹²³

7.4.2 Messungen als Raumkonstituierende

„So wie Newtons absoluter Raum ist für Mach und in der Folge für Poincare und Einstein auch die absolute Zeit eine rein gedankliche Konstruktion, die in keiner Erfahrung, keinem Experiment unmittelbar auftritt.“ [SCHNEIDER, M. 1988, S. 220] Auch die Raumzeit der Allgemeinen Relativitätstheorie resultiert aus gedanklichen Konstruktionen (siehe dazu [SCHNEIDER, M. 1988, S. 337 ff.]). Die Raumkonzepte unterscheiden sich danach, welche Beobachtungen den Raum jeweils konstituieren:

Prinzipiell können ganz verschiedene, auch nichträumliche Daten geometrisch interpretiert werden, wie Beutelspacher & Rosenbaum [BEUTELSPACHER & ROSENBAUM 2004] oder schon die universelle Anwendung von Abstandsmaßen in Merkmals- und Phasenräumen zeigen. Die Be-

¹²² Dies könnte mit einem Geschwindigkeitsbegriff, der - etwa durch Rückgriff auf Richtungen - nicht an ein räumlich-zeitliches Umfeld gebunden ist, umgangen werden.

¹²³ Vgl. http://de.wikipedia.org/wiki/Raum_%28Physik%29, 4.1. 2005.

griffe Gerade, Streckenlänge, Richtung, Winkel und Ebene können durch verschiedenen physikalischen Wirkprinzipien verkörpert werden: als Lichtstrahl, Schrittlänge, Lineal, Wellenlänge, äquidistanter Bewegungsfortschritt, Lotrichtung, Kompass, Winkelmesser, Teilkreis, Messkammer, Potentialfläche ... Die Deutung der mit diesen Instrumenten gewonnenen Messwerte als Größen bestimmter geometrischer Sachverhalte (Beispiel: der Bewegungsfortschritt des Lichtes wird als Länge mit bestimmter Größe gedeutet) legen die Geometrie fest. Der gedanklich konstruierte Raum hat deshalb unterschiedliche geometrische Eigenschaften, je nachdem, welche Geometrie einem physikalischen Sachverhalt zugeordnet wurde (weil sie ihm am treffendsten und am zweckmäßigsten entspricht). Dies mögen einige Beispiele verdeutlichen: 1, Aus Kombinationen mehrerer zentralperspektiver Bilder können mit den aus der Photogrammetrie oder der projektiven Geometrie bekannten Zusammenhängen dreidimensionale Körper konstruiert werden, die im euklidischen Sinne ähnlich sind. In der reinen Bildmesstechnik sind photogrammetrisch bestimmte Richtungsunterschiede die Raumkonstituierenden. 2, Aus horizontierten Messungen lassen sich wegen der Nichtparallelität der Lotrichtungen ausgedehnte Körper nicht mit der euklidischen, sondern mit der sphärischen oder elliptischen Geometrie mathematisch modellieren. 3, Betrachtet man den Abbildungsvorgang als einen Prozess mit einer nicht zu vernachlässigenden Dauer, tritt zu der räumlichen Perspektive eine weitere Projektion hinzu, deren Eigenschaften durch den Bewegungszustand des Beobachters gegenüber dem beobachteten Objekt bestimmt ist. Typische Beispiele sind die Zeilen-, Rotations- oder Radarsensoren der Fernerkundung oder die Experimente aus dem Umfeld der sogenannten „Speziellen Relativitätstheorie“. 4, Werden unter der Annahme rotations- und verschiebungsinvarianter Maßstäbe Strecken gemessen, lässt sich dies als Interpretation der Wirklichkeit mit den Begriffen der euklidischen Geometrie charakterisieren, die dann zwischen den Messgrößen gilt. Hier sind Messungen mit starren Längen die Raumkonstituierenden. 5, Sind bei der Modellierung des Abbildungsprozesses allein die Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Signale zu berücksichtigen und folgt man dem Prinzip der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit sowie der gebräuchlichen Beschreibung des Relativitätsprinzips in Form der Lorentztransformation, lassen sich diese Beobachtungen mit der hyperbolischen Geometrie beschreiben. 6, Bezieht man auch die Wirkung von Gravitationsfeldern gemäß der Allgemeinen Relativitätstheorie ein, d. h. die Lichtausbreitung folgt nicht einer euklidischen Geraden, lassen sich die Messungen mit der pseudo-riemannschen Geometrie beschreiben. Hier konstituieren die Ausbreitungseigenschaften elektromagnetischer Wellen unter Berücksichtigung der Gravitation den Raum und seine Eigenschaften.

7.4.3 Erweiterung

Nicht lokale Geometrien spielten in der Physik bislang kaum eine nennenswerte Rolle, vermutlich, weil schlicht der Grund fehlt: Solange Phänomene durch eine aus Punkten aufgebaute Geometrie beschrieben werden können, besteht wenig Grund für das Verlassen der gewohnten Wege. Der nicht lokale Charakter der Quantenmechanik¹²⁴ könnte ein Grund dafür sein, eine nicht lokale Geometrie wie die polareuklidische zur Beschreibung in Betracht zu ziehen. Es kann auch eine Frage der Zeit sein, bis die atomistische Sichtweise der aus Punkten aufgebauten euklidischen Geometrie um ihr Komplement, eine die Einflüsse des Umkreises beschreibende Geometrie, ergänzt wird.

7.5 Bedeutung des Raumkonzeptes für das Verständnis

Bekanntlich ist „Raum ein generelles Konzept für das Verstehen und Ordnen der Umwelt im täglichen Leben, in der Kunst und in der Wissenschaft“ [KOCH 2002]. Der Begriff des Raumes ist Grundlage für das verständige Durchdringen eines großen Teiles unserer Sinnesphänomene: Alle weder auf das eigene Behagen noch auf gedankliche Inhalte bezogenen Sinnesempfindungen

¹²⁴ Primas spricht sogar vom „nichtlokalen Charakter der materiellen Realität“ [PRIMAS 1993, S. 88].

(Tast-, Bewegungs-, Gleichgewichts-, Geruchs-, Geschmacks-, Farb-, Wärme-, Ton- oder Lautsinn) lassen sich mit Hilfe der Begriffe Raum und Zeit gedanklich in einen allgemeinen Zusammenhang bringen, indem sie räumlich und zeitlich verortet werden. Der so konstruierte Raum hat erhebliche Bedeutung für den Erkenntnisprozess:

- Ursprünglich erfahrbar ist weder ein Raum noch eine Distanz, sondern sinnlich empfindbar sind Richtungen, Bewegungen, Helligkeiten, Wärme etc. Sicht- oder tastbarer Erfahrungsraum ist immer dort, wo sinnliche Erlebnisse räumlich und zeitlich, d. h. als nebeneinander oder nacheinander stattfindende Ereignisse gedeutet werden. (These 25)

Der durch diese Deutung entstehende Raum ist immer so groß, wie die Bewegung, die ihm zugrunde liegt.

Mit dem Raumbegriff stellen sich alle (auf ein Gegenüber gerichteten) Erlebnisse als zu einem Ganzen gehörig dar. Erst wenn der Mensch die kontinuierliche Sinneserfahrung (ästhetische Beobachtung) als Ereignisse in Zeit und Raum gedeutet hat, kann verglichen, gezählt und gemessen werden. Die Konstruktion räumlicher Körper und dynamischer Prozesse aus den sinnlichen Erfahrung der Erscheinungen steht – wie die Herstellung der Vergleichbarkeit durch Klassifizierung des stets Unikaten auch – zwischen der ästhetischen Beobachtung und den exakten Wissenschaften.¹²⁵

In den Raumwissenschaften nach [KOCH 2002] sind dies vor allem die verschiedenen Arbeitsfelder der Geografie, „dient der Raum als Projektionsfläche, mit deren Hilfe Aspekte komplexer Sachverhalte überschaubar abgebildet werden können, um aus räumlichen Zusammenhängen im Sinne von Hypothesen auf sachliche Zusammenhänge zu schließen.“ [MÜLLER 2005], [SYRBE 2006] Die dem „Siegeszug der Geoinformationssysteme“ [BLASCHKE 1999] zugrunde liegende Projektion komplexer Informationen auf räumliche Größen basiert auf dem geodätisch bereitgestellten Raumbezug. Die instrumentell messbaren Beziehungen räumlicher oder raumzeitlicher Verhältnisse machen es möglich, mit den räumlich beschriebenen Phänomenen auf eine ganz formale Weise umzugehen, ohne inhaltlich auf sie eingehen zu müssen. Nicht formale, sondern inhaltsbezogene Beziehungen begründen jedoch Verständnis (vgl. [NEEF 1981]). Der gedanklich zu fassende Sinn verhält sich zu den Empfindungen der nichtgedanklichen Sinnesmodalitäten wie die Bedeutung eines Wortes zur Form der Buchstaben, mit denen es geschrieben steht: Die quantitativen Größen (Strichbreite, Buchstabengröße, Wellenlänge der Schriftfarbe usw.) sind innerhalb des Maßes für den Wortsinn bedeutungslos, mit Hegel sagen wir: „äußerlich“. Durch verständiges Beobachten und exploratives Experimentieren kann es gelingen, aus äußerlichen Regelmäßigkeiten in der Sache liegende (d. h. begriffliche) Zusammenhänge zu erschließen. Dafür ist es notwendig, über die räumliche und zeitliche Anordnung hinauszugehen. Man sucht nicht das äußerliche Muster, sondern man sucht das, woraus die einzelnen Erscheinungen hervorgegangen sein könnten, das verbindende Prinzip.

¹²⁵ Vgl. [SCHWARZ 1969, S. 167]: „Erst wenn der Verstand die Bewegung zur Ruhe abstrahiert hat, kann er vergleichen, zählen und messen.“



Abbildung 36 Demonstrationsversuch zum Vorzug der Fernerkundung, dem Überblick: In der Zusammenschau werden Zusammenhänge erkannt: Falls Sie das Gesicht nicht erkennen können, entfernen Sie sich von der Vorlage (Quelle: <http://www.ponyexpress.net/~mabalot/image.htm>, 11.2. 2003)

An der Sicht aus der Ferne wird eine Funktion des Raumes im Erkenntnisprozess sichtbar: Er ermöglicht Abstand und Überblick oder Nähe und Detailliertheit sowie die Hervorhebung und Unterdrückung, die Auswahl von Aspekten und Beziehungen zwischen mehreren Objekten auf optischem Wege. Raum ermöglicht das Sehen, ganz im wörtlichen Sinne, aus unterschiedlichen Perspektiven. Von zentraler Bedeutung ist eine andere Wirkung des Raumes: Er lässt Zusammenhänge erscheinen.

Insgesamt hat der Raumbegriff für die Bildung von Verständnis folgende Bedeutung:

- Er ermöglicht die Ordnung von Erfahrungen unabhängig von ihrer Qualität.
- Er ermöglicht die rein formale Analyse eines sonst nicht differenzierbaren Unveränderlichen.
- Wir konstruieren Zusammenhänge durch die Bildung von Körpern in Abhängigkeit von räumlichen Parametern.
- Räumliche Beziehungen geben Hinweise auf sachliche oder ursächliche Wirkungsbeziehungen.

Die Kenntnis räumlicher Maße ist wesentliche Handlungsgrundlage.

7.6 Ergänzende Anmerkungen

7.6.1 Definitionen des Raumbegriffes

Die Idee des Raumes umfasst viele mögliche Ausgestaltungen. Raum als Begriff des Nebeneinander lässt sich – wie jeder Begriff – zu verschiedenen Spezialbegriffen individualisieren und den jeweiligen Phänomenen anpassen. Dies kann auf verschiedene Weise erfolgen:

Die Nominaldefinition

Als Raum werden nicht nur in der Mathematik und nicht nur „korrespondierend zu unseren Sinnen“ (so [SOFFEL ET AL. 2002]) Mengen von Elementen mit bestimmten Eigenschaften angesehen. Beispiele für die Anwendung des Raumbegriffes als Begriff, der eine Menge bildet sind Räume, in denen bestimmte mathematische Axiome gelten (Euklidischer Raum, Hilbertraum, Vektorraum, Zahlenraum), Farbräume, Lebensräume, Spiel- und Handlungsräume, Verkehrsräume, Großräume, Landschaftsräume, Klangräume, Hohlräume, Merkmalsräume, Zeiträume, Werteräume oder soziale Räume. Die Definition „Der Raum ist die Menge aller Orte“ bindet „Raum“ an das Wort „Ort“ und an den Mengenbegriff. Alle diese Beispiele sind Nominalbegriffe: Sie wählen Objekte aus einer größeren Gruppe aus.

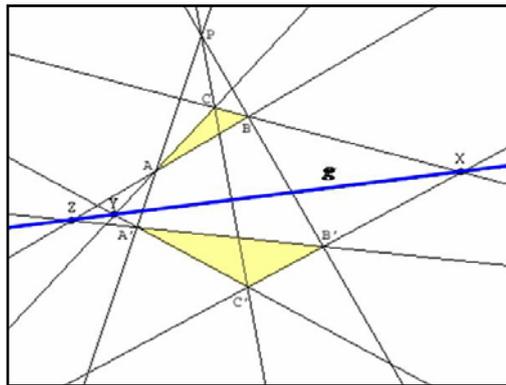


Abbildung 37 Konstruktion einer Geraden mit dem Satz von Desargues: Wenn sich die Verbindungslinien zwischen korrespondierenden Eckpunkten zweier in einer Ebene gelegenen Dreiecke in einem Punkt schneiden (dem Zentrum), so liegen die Schnittpunkte der entsprechend verlängerten Seiten auf einer Geraden

Die Funktionaldefinition

„Raum“ ist keine sprachliche Darstellung eines unmittelbar gegebenen Sachverhalts wie Druck, Farbe oder Wärme oder einer Auswahl gegebener Sachverhalte. Raum ist ein Funktionalbegriff, welcher Sinnesempfindungen, physikalische oder andere Größen in einer bestimmten Weise räumlich nebeneinander ordnet: Ist er von Sinnesempfindungen angeregt, tritt er als Gedanke in das Bewusstsein, der sie in Vordergrund und Hintergrund klassifiziert, Prioritäten setzt, Flächen und Kanten zwischen ihnen bildet usw. Der Begriff „Raum“ ist aber auch dann eine Konstruktionsvorschrift, wie der Satz von Desargues eine Vorschrift zur Konstruktion einer Geraden ist, Abbildung 37, wenn die Raumkonstituierenden nicht sinnlicher Natur, sondern physikalische Größen, sind. Durch diese Konstruktion eines zusammenhängenden Ganzen in Form eines räumlichen Nebeneinanders werden die Bewusstseinsinhalte geordnet. Die Interpretation der jeweiligen Bewusstseinsinhalte als räumliches Nebeneinander hat ihre in der Sache liegende Rechtfertigung in ihrer Vereinbarkeit mit dem Raumbegriff.

7.6.2 Zur Dreidimensionalität des Raumes

Eine empirische Erklärung der Dreidimensionalität findet man bei [SCHEURLE 1984, S. 109]: Horizontale Ebene und die vertikalen Richtungspole von Oben und Unten gehörten zusammen. Die Ebene stelle eine Funktion der Vertikalen, des ‚Lotes‘, dar und umgekehrt. Indem wir in der Aufrichtung die Eindimensionalität, in der Ebene die Zweidimensionalität erleben, bildeten sie zusammen das Orientierungskreuz des dreidimensionalen Raumes.

Zieht man die eigenen Betrachtungen zurate, sind zwei aufeinander senkrecht stehende Richtungen und Bewegungen (als Messgröße: Geschwindigkeiten) als empirische Grundlage der mathematischen Beschreibung des Ereignisraumes zu wählen – ebenfalls ein dreidimensionales Gebilde. Zwischen den Sinnesempfindungen, insbesondere von Richtungen und Bewegungen, versucht das Denken einen Funktionalzusammenhang zu bilden, aus welchem die Beobachtungen hervorgegangen sein könnten. Der Gedanke eines dreidimensionalen Raumes ist ein solcher Funktionalbegriff, mit dessen Hilfe sich eine Auswahl nacheinander gewonnener Sinnesempfindungen in einen gedanklichen Zusammenhang bringen lässt.

Der Raumbegriff dient vor allem der Ordnung der Ereignisse für das Erfassen und Begreifen der Erfahrungen. In dem Vermögen, alle auf ein Gegenüber bezogenen Erfahrungen in einen ersten Zusammenhang zu bringen, scheint mir die größte Bedeutung in der Gliederung der Erfahrungen in räumliche Gegenstände und Prozesse zu liegen. Daher sei als Anregung für den interessierten Leser auf eine diesbezügliche Begründung der Dreidimensionalität hingeführt, auch wenn eine derartige Reflexion von Überlegungen das phänomenologische Konzept der Arbeit verlässt.

Es ist offen – in Abwandlung der von Einstein aufgeworfenen, aber letztlich nicht beantworteten Frage, wie es möglich sei, dass die Mathematik, die doch ein von aller Erfahrung unabhängiges Produkt des menschlichen Denkens sei, auf die Gegenstände der Wirklichkeit so vortrefflich passe [EINSTEIN 1921] –, warum die Dreidimensionalität des Raumes ein so geeignetes Werkzeug zur Strukturierung unserer zweidimensional nebeneinander und nacheinander gewonnenen Erfahrungen ist. Im Folgenden werden einige Antworten zusammengetragen. Die Auswahl konzentriert sich auf den Zusammenhang zwischen erlebbarer Dimensionalität und gedanklicher Strukturierung der Erfahrungen.¹²⁶

Grundannahmen wie die, dass drei Koordinaten genügen, um ein Punktobjekt eindeutig zu lokalisieren [EINSTEIN 1916 § 17], [EINSTEIN 1921a] oder Euklids Definition „Ein Körper ist, was Länge, Breite und Tiefe hat“ [EUKLID] mit ihrer impliziten Dreidimensionalität des Raumes wurden lange Zeit ohne weitere Diskussion übernommen. Soffel et al. verweisen auf Kant, der als einer der Ersten die Dimensionalität des Raumes als physikalisches Problem betrachtet hätte und aus der $1/r^2$ -Abhängigkeit der Gravitationskraft die Dreidimensionalität des Raumes abzuleiten versuchte [SOFFEL ET AL.2002]. Dieses Argument wurde im Laufe der Zeit erweitert und modifiziert. Erst im Rahmen moderner, spekulativer Teilchenphysik ergäben sich Argumente, so Soffel et al. weiter, für eine Dimensionszahl des physikalischen Raumes größer als drei.

Mit der Ausarbeitung der nichteuklidischen Geometrie und anderen Verallgemeinerungen wurde deutlich, dass *mathematisch* jede beliebige Zahl von Dimensionen bearbeitet werden kann. Jammer fasst die vorwiegend neuzeitliche Diskussion um die Dimensionalität des Raumes mit Hinweisen auf geometrische, mathematische, physikalische, astrometrische, philosophische und esoterische Diskussions- und Beweisanträge für die Dreidimensionalität der Erfahrungswelt zusammen [JAMMER 1980, S. 192–208]. Zum Abschluss seiner Darstellung der Untersuchung über das Problem der Dimensionalität müsse er feststellen, dass bis heute [d. h. 1980 – d. Verf.] keine befriedigende Lösung gefunden wurde. Grassmanns Worte aus dem Jahre 1844 seien noch unwiderlegt:

„Es ist klar, wie der Begriff des Raumes keineswegs durch das Denken erzeugt werden kann, sondern demselben stets als ein gegebenes gegenübertritt. Wer das Gegenteil behaupten wollte, müsste sich der Aufgabe unterziehen, die Notwendigkeit der drei Dimensionen des Raumes aus den reinen Denkgesetzen abzuleiten [...]“ [JAMMER 1980, S. 208].

Eine Ableitung der Dreidimensionalität aus dem menschlichen Erkenntnisvermögen leistet Steiner. Er verbindet die Dreidimensionalität des Raumes mit dem menschlichen Erkenntnisprozess. Mit der Raumvorstellung gelinge es, aus Teilen eines Ganzen (unter Absehung jeglicher Besonderheiten) allgemeine Begriffe zu bilden. Das Ungewohnte des Steiner'schen Gedankens begründet die längere Wiedergabe seiner Erläuterung:

„Hierin liegt das Geheimnis der drei Dimensionen. In der ersten Dimension beziehe ich zwei konkrete Erscheinungselemente der Sinnenwelt aufeinander; in der zweiten Dimension beziehe ich diese räumlichen Bezüge selbst aufeinander. Ich habe eine Beziehung zwischen Beziehungen hergestellt. Die konkreten Erscheinungen habe ich abgestreift, die konkreten Beziehungen sind mir geblieben [...] Nun sehe ich ganz davon ab, daß es konkrete Beziehungen sind [...] Ich stelle Beziehungen zwischen Gleichem her. Jetzt hört die Möglichkeit des Beziehens auf, weil der Unterschied aufhört [...] Daher kann der Raum nur drei Dimensionen haben. Was wir hier mit der Raumvorstellung unternommen haben, ist eigentlich nur ein spezieller Fall der von uns immer angewendeten Methode, wenn wir an die Dinge betrachtend herantreten. Wir stellen konkrete Objekte unter einen allgemeinen Gesichtspunkt. Dadurch gewinnen wir Begriffe von den Einzelheiten; diese Begriffe betrachten wir dann selbst wieder unter den gleichen Gesichtspunkten, so daß wir dann nur mehr die Begriffe der Begriffe vor uns haben; verbinden wir auch diese noch, dann verschmelzen sie in jene ideelle Einheit, die mit nichts anderem mehr als mit sich selbst unter einen Gesichtspunkt gebracht werden könnte. Nehmen wir ein besonderes Beispiel. Ich lerne zwei Menschen kennen: A und B. Ich betrachte sie unter dem Gesichtspunkt der Freundschaft. In diesem Fall werde ich einen ganz bestimmten Begriff a von der Freundschaft der beiden Leute bekommen. Ich betrachte nun zwei andere Menschen, C und D, unter dem gleichen Gesichtspunkt. Ich bekomme einen anderen Begriff, b, von dieser Freundschaft. Nun kann ich weitergehen und diese beiden Freundschaftsbegriffe aufeinander beziehen.

¹²⁶ Einen Überblick über Theorien zur Dimensionalität des Raumes gibt [GOSZTONYI 1976, S. 1046–1099].

Was mir da übrig bleibt, wenn ich von dem Konkreten, das ich gewonnen habe, absehe, ist der Begriff der Freundschaft überhaupt. Diesen kann ich aber realiter auch erhalten, wenn ich die Menschen E und F unter dem gleichen Gesichtspunkt und ebenso G und H betrachte. In diesem wie in unzähligen anderen Fällen kann ich den Begriff der Freundschaft überhaupt erhalten. Alle diese Begriffe sind aber dem Wesen nach miteinander identisch [...] Der Raum ist also die Ansicht von Dingen, eine Art, wie unser Geist sie in eine Einheit zusammenfaßt. Die drei Dimensionen verhalten sich dabei in folgender Weise. Die erste Dimension stellt einen Bezug zwischen zwei Sinneswahrnehmungen her. Sie ist also eine konkrete Vorstellung. Die zweite Dimension bezieht zwei konkrete Vorstellungen aufeinander und geht dadurch in das Gebiet der Abstraktion über. Die dritte Dimension endlich stellt nur noch die ideelle Einheit zwischen den Abstraktionen her.“ [STEINER 1897, S. 35 f.]

Die Zugehörigkeit zum Raum sage nichts Besonderes über den Untersuchungsgegenstand. Ihn in seinen Beziehungen zu anderen zu erkunden, obliege ganz der menschlichen Freiheit. Die von Jammer geforderte „Ableitung aus den reinen Denkgesetzen“ schaffte Gut, indem er den Steiner’schen Gedankengang an Freges logische Untersuchungen anknüpfte [GUT 1971]¹²⁷. In Guts mathematischer Ableitung ergibt sich dreidimensionaler Raum als „das einfachste und allgemeinste Gedankensystem des absoluten logischen Denkens erster Stufe“. Aber auch das ist schließlich eine Interpretation. Es ist ja unmöglich, die Dimensionalität direkt zu messen. Statt sie mit physikalischen Mitteln zu beweisen, kann sie nur mit mathematischen oder anderen Argumenten plausibel dargestellt werden.

7.7 Fazit

Mit dem entwickelten Raumkonzept wurde die in Kapitel 6 beschriebene Erweiterung der naturwissenschaftlichen Forschungsmethode erfolgreich angewendet. (These 20) Mit der phänomenologischen Untersuchung konnten die impliziten Bestimmungen des Raumbegriffs explizit gemacht werden.

Die Erkenntnis, dass Raum und Zeit Interpretationen realer Bewegungen und Richtungen sind, führt zu einer nicht gekannten Freiheit in der Bildung räumlicher und zeitlicher Beziehungen, wie von Einstein gefordert:

„Der Versuch, sich der empirischen Quellen dieser Grundbegriffe bewusst zu werden, soll zeigen, inwieweit wir an diese Begriffe tatsächlich gebunden sind. Wir werden uns so unserer Freiheit bewusst, von der im Falle der Notwendigkeit einen vernünftigen Gebrauch zu machen, stets ein hartes Geschäft ist.“ [EINSTEIN 1916, S. 90]

¹²⁷ Anmerkung: Gut führt die Abstraktion eines Individuellen nicht anhand der disjunktiven Negation, sondern an dem Begriff der Verschiedenheit zwischen einem Gegenstand und einem unscharfen, nicht konkretisierten (davon) Verschiedenem aus. [GUT 1971]

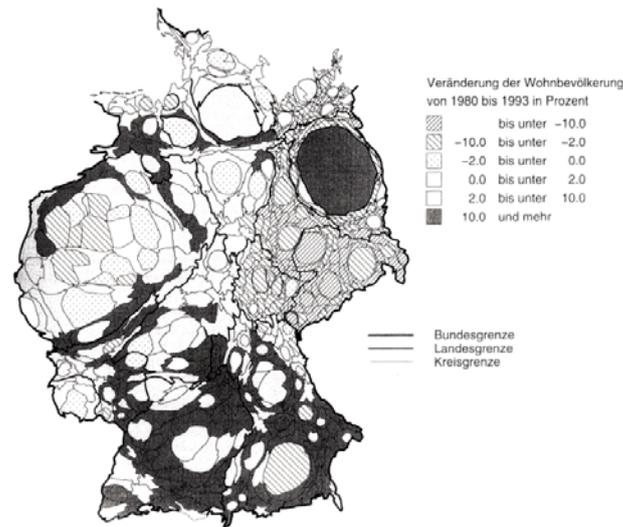


Abbildung 38 Kartografische Anamorphose: In dieser nichteuklidischen Abbildung sind die Flächen der Landkreise der Bundesrepublik Deutschland proportional zur Wohnbevölkerung verzerrt. Die Flächenfüllung repräsentiert die Veränderung der Wohnbevölkerung zwischen 1980 und 1993 (Abbildung übernommen von RASE 2001).

Während in der nichteuklidischen Darstellung funktionaler Räume Eigenschaften wie Wegezeiten oder Bevölkerungsdichten an die Stelle gemessener Raumdistanzen treten, als Beispiel siehe Abbildung 38, können gemessene Koordinaten und Distanzen auf die ihnen zugrunde liegenden Richtungen und Bewegungen zurückgeführt und aus diesen andere raumzeitliche Größen bestimmt und visualisiert werden – analog der unterschiedlichen kartografischen Projektion geodätischer Größen. Die Rückführung räumlicher und zeitlicher Größen auf die zugrunde liegenden Beobachtungsgrößen ermöglicht die Integration verschiedener Raumzeitkonzepte in ein Geoinformationssystem. Andere Spezifizierungen quantitativer Maße des Raumes, man denke beispielsweise an Landschaftsmaße, ließen sich als raumzeitliche Größen neu konzeptionieren.

Man kann sich fragen, welchen Nutzen die Betrachtungen zu Raum, Zeit, Bewegung zeitigen. Das Erkennen eines Dreieckes setzt voraus, „drei“ und „Ecke“ denken zu können. Anders ausgedrückt: Entsprechende Wirklichkeiten können erst gefunden werden, wenn versucht wird, Raum und Zeit als die Wirklichkeit in einer bestimmten Weise konstituierende Elemente zu nehmen. Mit diesem Kapitel ist die Grundlage einer vermutungsfreien Sichtweise kinematischer Ereignisse geschaffen. (These 26)

8 Visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung

Nachdem bestimmt wurde, wie eine auf die Bildung von Begriffen gerichtete Untersuchung zu führen ist, Kapitel 6, und die entwickelte Methode beispielhaft auf den Begriff des Raumes angewandt worden ist, Kapitel 7, soll nun der Beitrag der Fernerkundung zur Entwicklung sachge-rechter Begriffe untersucht werden. Es wird eine kurze Einführung in die Fernerkundung voran-gestellt. Danach wird die visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten beschrieben, wie sie sich aus Sicht der vorangehenden Analyse darstellt. Dabei wird den Möglichkeiten zur Bildung von Verständnis eine besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

8.1 Einführung in die Fernerkundung der Erde

Für die Einführung in die Geofernerkundung könnte das Messprinzip vereinfacht folgenderma-ßen beschrieben werden: Die Intensität des an der Erdoberfläche reflektierten Sonnenlichtes wird gemessen und digital kodiert. Die Größe der Fläche, über die die Strahlung zu einem Wert integ-riert wird, beträgt je nach Sensor einige Quadratdezimeter, Quadratmeter oder Quadratkilometer. Die Anordnung einiger Tausend solcher Messflächen in einer Zeile ermöglicht in Kombination mit der Vorwärtsbewegung der Plattform eine flächenhafte Abtastung der Erdoberfläche, der Ozeane oder der Atmosphäre. Die Messung erfolgt typischerweise synchron in mehreren spekt-ralen Wellenlängenbereichen. Die so gewonnenen digitalen Messwertmatrizen können rechnege-stützt ausgewertet oder für die visuelle Interpretation auf einem Bildschirm ausgegeben werden, indem die Helligkeiten der Bildschirmfarben Rot, Grün und Blau von den Messwerten gesteuert werden. In der Praxis wird nicht nur die Intensität des reflektierten Sonnenlichtes gemessen, son-dern auch die emittierte Strahlung oder das Echo eines ausgesandten Signals, wodurch in Kom-bination mit verschiedenartigen Plattformen vom Modellflugzeug bis zum geostationären Satellit-ten ein breites Spektrum instrumenteller Erdbeobachtung eröffnet wird.

Präziser ist Fernerkundung als flächenweise Beobachtung und Messung der energetischen und Polarisationscharakteristika der Eigen- und Reflexionsstrahlung von Teilen des Festlandes, der Weltmeere und der Atmosphäre der Erde zu beschreiben. Diese erfolgen in verschiedenen elekt-romagnetischen Wellenlängenbereichen und tragen zur Beschreibung des Charakters und der zeitlichen Veränderlichkeit der natürlichen Parameter und Erscheinungen, der natürlichen Res-sourcen der Erde, der Umwelt sowie Objekte und Gebilde bei.¹²⁸ Wesentlich ist, dass mit Ferner-kundungssensoren auch physikalische Eigenschaften messtechnisch erfasst werden können, die für die Sinneswahrnehmung nicht direkt erfahrbar sind wie beispielsweise Reflexionsparameter in Wellenlängenbereichen jenseits des sichtbaren Lichtes oder Parameter der elektromagnetischen Feldstärke oder der Reflexionseigenschaften von Radar-Impulsen¹²⁹. Die in der Geofernerkun-dung verwendeten Sensorsysteme haben einen hohen Grad an geometrischer, spektraler und radiometrischer Messgenauigkeit erlangt. Die formalisierbaren Schritte der Dateninterpretation werden Rechenanlagen übertragen.

¹²⁸ Qualifizierte Einführungen sind beispielsweise bei [ALBERTZ 2001] sowie zahlreich im Internet zu finden: Internationale E-Learning-Projekte in der Fernerkundung: Basics of Remote Sensing from Satellite (National Oceanic & Atmospheric Administration): <http://www.orbit.nesdis.noaa.gov/smcd/opdb/tutorial/intro.html>; Belgian Earth Observation Desk: http://telsat.belspo.be/beo/flash_menu.htm; eduspace – learning with earth observation (esa): <http://www.eduspace.esa.int>; Einführung in Fernerkundung und Digitale Bildverarbeitung (Universität Salzburg): <http://www.sbg.ac.at/geo/student/fernerkundung/index.htm>; Introduction to Remote Sensing (University of Hawaii): http://space/hawaii/vfts/oahu/rem_sens_ex/rssex.spectral.1.html; NASA's Remote Sensing Tutorial (Goddard Space Flight Center): <http://rst.gsfc.nasa.gov>; Principles of Remote Sensing (Singapore Science Center): http://www.science.edu.sg/ssc/virtual_ssc.jsp?type=4&root=140&parent=140&cat=239; Remote Sensing Tutorials (Canada Centre for Remote Sensing): http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/tutorials_e.html.

¹²⁹ Damit hat das „Sichtbarmachen von Unsichtbarem“ in der Fernerkundung eine ganz eigene Dimension.

Die Erkundung der Erde aus der Ferne hat gegenüber anderen Verfahren einige Vorteile: Berührungslosigkeit, Operativität, Automatisierbarkeit. Für das Verständnis erdbezogener Phänomene besteht der bedeutendste darin, dass durch die Beobachtung aus der Ferne räumliche Beziehungen luftsichtbarer Phänomene eines sonst nicht überschaubaren Bereiches der Erdoberfläche unmittelbar überblickt und erkannt werden können.¹³⁰ Zusammenhänge zwischen den abgebildeten Objekten können sichtbar werden, wenn sie sich in der räumlichen Anordnung der einzelnen Objekte, siehe Abbildung 39, oder in deren Gestalt, siehe Abbildung 40 links, widerspiegeln. Der Überblick gestattet die Bildung von Begriffen, die sich auf große Räume beziehen. Im Unterschied zur Kartografie basiert die Begriffsbildung hier auf Visualisierungen von Reflexions- oder Polarisationsmerkmalen oder aus ihnen abgeleiteten Größen, nicht auf bereits abstrahierten thematischen Inhalten.

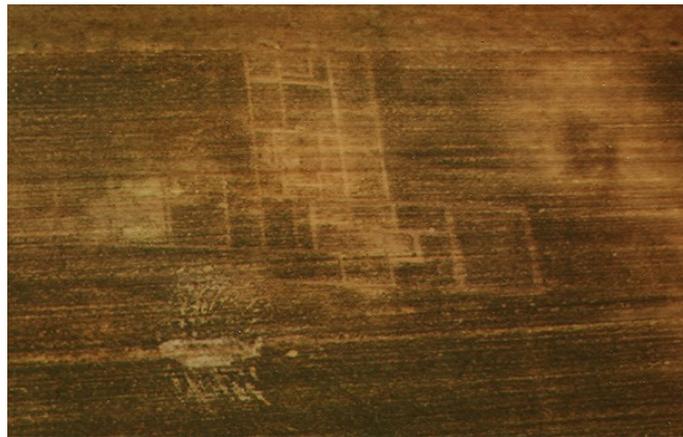


Abbildung 39 Abbildung einer römischen Siedlung im Luftbild (Quelle: <http://www.informatik.hu-berlin.de/~meffert/Seminararbeiten/Fernerkundung2>, Zugriff: 22.8. 2005) Die Entdeckung archäologischer Objekte ist ein typisches Beispiel für das Erkennen eines Zusammenhanges aus der Ferne. Die Struktur der römischen Siedlung innerhalb einer landwirtschaftlichen Fläche wird im Luftbild sichtbar, ähnlich dem aus Punkten bestehenden Kreis in Abbildung 11. Der Betrachter verbindet die Sinnesempfindungen, die Seh-Dinge, durch geometrische Begriffe und – im Fall eines archäologisch vorgebildeten Interpreten – durch weitere entsprechende Begriffe wie hier beispielsweise dem einer Siedlung.

8.2 Die visuelle Interpretation von Daten der Fernerkundung

Aufbauend auf die Kapitel 3 und 4 kann die visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten folgendermaßen beschrieben werden: Die Interpretation von Bildern beginnt mit der Sinnesempfindung, mit der Absicht etwas wahrnehmen zu wollen und – sofern sie auf das Erkennen bekannter Dinge gerichtet ist – mit Vorgaben. Dazu setzt sich der Interpret vor jeder begrifflichen Fixierung der Wirkung des Interpretationsgegenstandes aus. Das sinnliche Empfinden der Beziehung des Interpreten zum Interpretationsobjekt ist die der Erkenntnis zugrunde liegende, nicht hintergehbare Erkenntnisquelle. Für die visuelle Interpretation sind Sehsinn, Bewegungssinn und Gleichgewichtssinn von besonderer Bedeutung. Durch die menschliche Organisation werden die Sinnesempfindungen ohne ihren gedanklichen Zusammenhang erfahren. Mit jeder Sinnesempfindung stellt sich die Frage nach ihrer Einordnung in das Verständnissystem. Während es für die Sinneserlebnisse genügt, die Aufmerksamkeit auf den entsprechenden Sinn zu richten, muss der gedankliche Zusammenhang aktiv gedacht werden. Als Antwort auf eine Sinnesreizung wird also ein Begriff hervorgebracht, der anhand einer vertieften Wahrnehmung verifiziert oder modifiziert wird. Die Entwicklung der Zusammenhänge ist potenziell in fortwährender Steigerung begriffen.

¹³⁰ Auch Schneider nennt die weiträumige Übersicht als ersten Vorzug. [SCHNEIDER, S. 1974, S. 16]

Bei der Interpretation der Fernerkundungsdaten werden die gedanklichen Verbindungen zwischen den aus der Bildbetrachtung hervorgehenden Sinnesempfindungen in einer Art Selbstorganisationsprozess gebildet oder aus dem Rückgriff auf in der vergangenen Lebensgeschichte bereits entwickelte Zusammenhänge (Wiedererkennen) bezogen. Die gedanklichen Zusammenhänge lassen den Betrachter die Wahrnehmungen verstehen. Durch sie erhalten die Sinneserlebnisse gedankliche Bedeutungen, sie werden „interpretiert“.



Abbildung 40 Typische Beispiele für Interpretationsmerkmale der räumlichen Anordnung: Links erlaubt die Anordnung der Grauwerte das Erkennen einer Einfamilienhaussiedlung. In der Mitte kann aufgrund der Anordnung geradlinig begrenzter heller und dunkler Flächen auf beleuchtete und abgeschattete Bereiche einer innerstädtischen Hochhausbebauung geschlossen werden, rechts lässt die Anordnung der dunkelgrauen Fläche in der gerundeten ovalen Form sofort ein Stadion erkennen. (Quelle: [http://www.utexas.edu/research/ica/ RemoteSensing.htm](http://www.utexas.edu/research/ica/RemoteSensing.htm), 9/2001, um 180 ° gedreht)

Durch die Organisation unseres Wahrnehmungsvermögens wird der Erfahrungsraum in Teile zerlegt, Abschnitt 8.3. Die Synthese erfolgt durch die Bildung gedanklicher Zusammenhänge.

8.3 Analyse im Prozess der Bildbetrachtung

Die aktive Beobachtungstätigkeit löst das Objekt der Aufmerksamkeit aus seinem Zusammenhang und macht es zum Brennpunkt des Interesses. Der Sehvorgang verläuft so, dass im Moment des wachen Fixierens nur ein einziger Punkt des gesamten Sehfeldes scharf gesehen wird, derjenige in dem beide Sehachsen konvergieren. Alles Umgebende wird unscharf und entsprechend unbewusst wahrgenommen. Dies wird in der Regel nicht bemerkt, weil die Aufmerksamkeit auf den fixierten, scharfen Punkt konzentriert ist. Auf diese Weise wird die sichtbare Welt im Prozess der Wahrnehmung in neben- und nacheinander angeordnete Einzelelemente zerlegt. Bei näherer und eingehender Beschäftigung wird das Objekt abermals in seine Unterelemente zerlegt, gegebenenfalls mit instrumenteller oder theoretischer Unterstützung.

Das genaue Hinsehen führt zur Isolation der Teile durch Auflösung der Zusammenhänge. Die – ohne Analyse vorhandene – natürliche Ganzheit lässt sich nicht gedanklich bewusst ergreifen. Aber sie lässt sich *empfinden* in der Stimmung, dem Charakter, dem Erleben der Wirkung, der „Atmosphäre“ („ästhetische Betrachtung“), wie in Kapitel 5.1 ausgeführt wurde.

8.4 Synthese im Prozess der Bildbetrachtung

8.4.1 Synthese durch Nominalbegriffe: Dekodieren

Bei der Interpretation visualisierter Fernerkundungsdaten ordnet der Interpret in bestimmten Richtungen wahrgenommenen Farben Bedeutungen zu. Da nicht nur Farbe bzw. Helle, sondern auch die Richtungen unmittelbar wahrgenommen werden, siehe Kapitel 3, sind Richtungen in Erweiterung der üblichen Darstellungen (siehe bspw. [PHILIPSON 1997, S. 50 ff.]) auch zu den primären Interpretationsmerkmalen zu zählen. (These 28) Die Form ist aus der Bewegung abgeleitet. Auch Größe, Textur, Schatten sind sekundäre Merkmale. Schon mit dem Erkennen von Flächen, Kanten und Körpern geht der Interpret über das unmittelbar Sichtbare (Nacheinander von Farben und Helligkeiten in bestimmten Richtungen) hinaus. Er tut dies durch Vergleichen mit Erinnerungen, einer Legende, einem Interpretationsschlüssel, mit Karten oder mit der Wirk-

lichkeit unter Einbeziehung seines Vorwissens (vgl. [SCHNEIDER, S. 1974, S. 170 ff.]). Dabei spielt die Intention des Beobachters zur Differenzierung der Sinnesempfindungen und gedanklichen Gliederung eine wichtige Rolle. Handelt es sich um wohlbekannte Gegenstände, so ist ihr Begriff bzw. Vorstellungsbild als selektives Kennzeichen bereits im Wahrnehmen differenzierend wirksam (Gewohnheitsdenken).

Aus der Kombination bereits erschlossener Bedeutungen können weitere, bislang unerkannte, entdeckt werden („levels of photographic interpretation“ [TENG ET AL. 1997, S. 58]). Beispielsweise kann die soziologische Struktur einer Siedlung aus den (bereits abgeleiteten) Merkmalen Größe, Form, Alter der Gebäude, Größe und Zustand der Gärten, Zufahrtsstraßen, Parkplätze, Erholungsanlagen in der Umgebung u. ä. Dingen [ALBERTZ 2001, S. 133] oder – um ein weiteres Beispiel zu nennen – Eigentumsformen aus der Parzellierung, dem Wegenetz und der Dorfstruktur [HILDEBRANDT 1996, S. 310] erschlossen werden. Diese Phase, bei der Kombinationen bedeutungsvoller Objekte zu Klassen zusammengefasst werden, gleicht der Interpretation von Karten und kartenähnlichen Darstellungen (siehe z. B. [HÜTTERMANN 1993]).

Aus der via Interpretationsschlüssel beschriebenen Paketierung von Merkmalen unter einem Namen erfährt man nicht, was ein bestimmtes Objekt (beispielsweise eine Caldera, siehe Google Earth: 64° 46' N, 20° 23' W) ist, sondern allein wie man die Kombination dieser Merkmale bezeichnet und was wo vorhanden ist. Der Klassenname ist eine Abkürzung für die Auswahlkriterien, die zur Zuordnung dieses Objektes in diese Klasse geführt haben. Die Definition dieser Klasse ist eine Nominaldefinition. Die inhaltliche Bedeutung dessen, dem man mithilfe der üblichen Interpretations- und Klassifizierungsverfahren eine Bezeichnung (z. B. „Caldera“ oder „Kanalisation des Rheins“) zuordnet, muss man aus anderen Quellen beziehen. Die Interpretation im Sinne einer – gegebenenfalls mehrstufigen – Dekodierung ist so gesehen „eine Methode der Datenerhebung, die sich durch eine großflächige Abdeckung des Untersuchungsgebietes auszeichnet“ [HÜTTERMANN 2001, S. 15].

8.4.2 Interpretation als Synthese durch Funktionalbegriffe

Estes et al. führen aus, dass Interpretation auch inhaltlich-*funktional* begründetes Zuweisen von Bedeutungen zu Merkmalskombinationen einschließen kann [ESTES ET AL. 1983, S. 1008]. Sie geben als verdeutlichendes Beispiel das Erkennen eines Wärmekraftwerkes am *funktionalen Zusammenwirken* von großen Gebäuden, Rauchabzügen, Kohlelagerplätzen, Verkehrswegen und Kühltürmen an, siehe Abbildung 41. Abstrahiert ausgedrückt: Das Nebeneinander der dekodierten Sinneserfahrungen (Schornsteine, Kühltürme, Lagerplätze, Gebäude, Fernleitungen, Verkehrswege) wird als Erscheinung der *Funktion* eines Heizkraftwerkes begrifflich. Das Funktionsprinzip ist das die Erscheinungen verbindende Prinzip, ohne damit eine kausale oder sonstige konstitutive Beziehung zu unterstellen: Wie schon von Kant ausgeführt, ist das verbindende Prinzip allein das gedankliche „Schema eines regulativen Prinzipes, um die Erfahrung systematisch zu ordnen“ [KANT 1787, S. B697–732] Es kann funktionaler, struktureller, kausaler, genetischer [BARTEL 1970], [SCHOLZ ET AL. 1980, S. 91] oder semantischer Art sein.



Abbildung 41 Beispiel für die Erscheinung eines Funktionalbegriffes. Das Funktionsprinzip eines Heizkraftwerkes lässt die Anordnung der erkannten Objekte verständlich werden. (Quelle: Google Earth, Dresden, 26. April 2006, bearbeitet)

Der Funktionalbegriff (in der Abbildung: „Heizkraftwerk“) ist invariant gegenüber den sinnlich erfahrbaren Merkmalen seiner jeweiligen Erscheinung, sprich: Der Begriff könnte auch ganz anders realisiert sein. Dann würde er ganz anders erscheinen. Diese Unabhängigkeit der äußeren Erscheinung von der Funktion teilt das Heizkraftwerk mit einem Automobil, einem Schrank, einem Dreieck oder sonstigen technischen oder mathematischen Begriffen. Um Objekte, deren Funktion bekannt ist, in Daten zu erkennen, bedarf es also nicht der Kenntnis ihrer möglichen Erscheinungsformen (These 11). Der Betrachter oder die Betrachterin erkennt *inhaltlich-funktionale* Zusammenhänge *nicht* dadurch, dass *bedeutungsfreie* Sinnesempfindungen (Farbe, Form, Größe, Textur) durch einen Namen zu Formen oder Mustern zusammengefasst werden. Bei der inhaltlich-funktionalen Interpretation von Daten, sei es in den Geowissenschaften, in der messenden Naturwissenschaft überhaupt oder auch in den Sozialwissenschaften oder der Kriminalistik, sind es weder bedeutungslose Zahlenwerte noch die unmittelbaren Sinneserfahrungen wie Farben oder Helligkeiten, die es in Beziehung zu setzen gilt. Vielmehr kommt es darauf an, Zusammenhänge zwischen *mit Bedeutungen verbundenen* Daten oder Sinnesempfindungen herzustellen. So gesehen „unterscheidet sich die Bildinterpretation nicht von der Arbeit eines Detektivs, der Teile zusammensetzen hat, um ein Rätsel zu lösen“ [LILLESAND & KIEFER 2004, S. 201].

Um den Unterschied zwischen der Zuweisung von Bedeutungen anhand der Funktion einerseits und anhand von äußerlichen Merkmalen andererseits besser hervorzuheben, seien einige Beispiele genannt. Als erstes sei an die Legende über den Arzt John Snow (1813–1858) erinnert, dem es 1854 gelungen sein soll, aus einer Kartierung der von Cholera betroffenen Haushalte einen hypothetischen Zusammenhang zwischen der Cholera und der Wasserentnahme an einer bestimmten öffentlichen Pumpe herzustellen. Die Lösung lag in der Bildung eines funktionalen Zusammenhanges: Die Anordnung der betroffenen Haushalte wurde aus ihrer Nähe zu einem bestimmten Brunnen verständlich. Zweitens wird der Unterschied zwischen formalen und semantischen Beziehungen beim Lesen deutlich: Durch das Lesen der Buchstaben und Worte nimmt man den Satz Stück für Stück wahr und verbindet die Teile zu einem Ganzen. Bei einer fremden Sprache gelingt das gedankeninhaltliche Verbinden nicht, da die Bedeutungen der Teile und die mit ihnen zusammenhängenden inhaltlichen, also von den Bedeutungen der Worte ausgehenden, Beziehungen nicht gedacht werden können.



Abbildung 42 Choleraepidemie in London 1854. In der Karte sind die von der Cholera betroffenen Haushalte und die öffentlichen Pumpen (x) eingetragen. (Quelle: <http://www.arikah.com/encyclopedia/Epidemiology>, 19.1.2007)

Eine mathematisch-quantitative Modellierung kann sich nur auf die äußere Erscheinung (die Form der Buchstaben) beziehen. Im Gegensatz dazu zielt Verstehen auf das Erkennen einer idealen Funktion zum Ordnen der Erscheinungen. Statt einen formalen Zusammenhang zwischen beobachtbaren Interpretationsmerkmalen zu suchen, werden die Interpretationsmerkmale als Ausdruck funktionaler Beziehungen zwischen bedeutungsvollen Objekten gedeutet. Bei der Bildung einer funktionalen Beziehung, aus der heraus die Erscheinungen verständlich werden, sieht man gewissermaßen durch die Erscheinungen (Farben, Formen, Texturen, Größen, Kontraste in ihrer räumlichen Anordnung) hindurch auf deren Bedeutungen¹³¹. (These 30)

Estes et al. beschränken das Erkennen eines Objektes anhand einer funktionalen Beziehung auf anthropogene Objekte wie Industrieanlagen, Schulen, landwirtschaftliche Betriebe [ESTES ET AL. 1983]. Naturdinge würden allein an äußeren Merkmalen, d. h. am Vorstellungs- oder am Erinnerungsbild erkannt. Aber: sofern funktionale Begriffe auch von Naturdingen (siehe Beispiele emergenter Strukturen in Abschnitt 2.1: Talformen, Mündungsgebiete, Hochdruckgebiete, Wald, Fließgewässer etc.) vorliegen, braucht auch bei diesen nicht auf Nominaldefinitionen zurückgegriffen werden. Die zunehmend auch außerhalb der Ökologie akzeptierte Vorstellung einer sich selbst organisierenden Strukturbildung erklärt letztlich alle nicht zufälligen, d. h. strukturierten Erscheinungen als Ergebnis funktionaler Zusammenhänge. Beispielsweise können durch funktionale Beziehungen Muster in Pflanzenbeständen [MÜLLER ET AL. 1997b], [MÜLLER & NIELSEN

¹³¹ Das Pendelgesetz wäre ein Beispiel für einen Funktionalbegriff zwischen beobachtbaren Größen: Wird bei einem mit kleiner Auslenkung schwingenden Pendel die Länge des Pendels vergrößert, verlängert sich die Schwingungsdauer. Die „Räuber-Beute-Beziehung“ wäre eine semantische Funktionalbeziehung.

2000], morphologische oder raumzeitliche Strukturen verständlich werden (siehe Abschnitt 2.1). (These 8)

8.5 Besonderheit raumbezogener Daten

Raumwissenschaften richten sich darauf, die Gesetzmäßigkeiten der *räumlichen Anordnung* der Objekte und Erscheinungen verständlich werden zu lassen. Das Ziel der Interpretation raumbezogener Daten ist die Beschreibung und Erklärung der räumlichen Differenzierung und des räumlichen Gefüges mithilfe der Einzelemente und ihrer Beziehungen untereinander (verallgemeinert nach [HÜTTERMANN 1993, S. 139]). Die räumlichen Beziehungen können sinnlich (Bewegungssinn, Gleichgewichts- oder Richtungssinn) oder instrumentell beobachtet werden. Das Einbeziehen räumlicher Relationen wie Nachbarschaft, Distanz, Konnektivität in die Begriffsbildung ist die Besonderheit der Raumwissenschaften gegenüber nichträumlichen Betrachtungsweisen wie die auf Ursache-Wirkung-Beziehungen gerichtete Betrachtungsweise oder der Kriminalistik. Die räumlichen Beziehungen sind so gesehen ein zusätzliches Kriterium, nach welchem die Beobachtungen gedanklich zu ordnen sind.¹³²

Die konkreten geometrischen Verhältnisse der Visualisierung hängen von der Bezugsfläche und deren kartografischer Abbildung in den Visualisierungsraum (meist die Kartenebene) ab. Im Kapitel 3 (siehe auch These 12) wurde allgemein festgestellt, dass das Sinneserkennen von den konkreten Sinnesqualitäten weitgehend¹³³ unabhängig ist. Das bedeutet hier: Die Wahl der kartografischen Abbildung und des Bezugsellipsoides ist für das Erkennen funktionaler Zusammenhänge in weiten Bereichen unerheblich, was der Visualisierung von Geodaten einen großen Spielraum bei der Wahl ihrer Abbildungsgeometrie einräumt. Je nachdem, in welches der zahlreichen Bezugssysteme die geodätischen Koordinaten abgebildet werden, nehmen die Projektionsfläche „Raum“ und die mit ihrer Hilfe erzeugten quantitativen raumanalytischen Hypothesen unterschiedliche Gestalt an. Um diese Vielfalt zu nutzen, können GIS-Anwender nahezu problemlos zwischen verschiedenen kartografischen Projektionen wechseln. Aus der Kartografie ist bekannt, dass nichteuklidische Abbildungen die Interpretation funktionaler Beziehungen – zu Lasten der Metrik – erleichtern können (vgl. [MULLER 1983] oder [RASE 2001]).

Nach den Ausführungen von Kapitel 7 kommt ein weiterer Freiheitsgrad hinzu: Da die Interpretation der Beobachtungen mit der euklidischen Geometrie nur eine mögliche ist, können andere Geometrien zur Visualisierung verwendet werden, um Zusammenhänge erkennbar werden zu lassen. Die Variation der zugrunde liegenden Geometrien und räumlichen Metriken erhöht die Vielfalt möglicher Perspektiven zusätzlich.

8.6 Zur Visualisierung von Fernerkundungsdaten

Die visuell wahrnehmbare Präsentation von Daten, Informationen, Gegenständen oder Ideen ist von großer Bedeutung, da die visuelle Kommunikation nicht nur eine ausgesprochen effektive Übertragungsmöglichkeit komplexer Sachverhalte darstellt, sondern – und das ist der Grund für ihre Behandlung an dieser Stelle – über eine große Potenz verfügt, Zusammenhänge sichtbar werden zu lassen.

¹³² Anmerkung: Jene Wissenschaften, in denen der Raum entscheidenden Einfluss auf die Begriffsbildung hat, wären als Raumwissenschaften zu bezeichnen, wenn der Terminus „Raumwissenschaften“ nicht bereits besetzt wäre, um die „Zuständigkeit für räumliche Sachverhalte und räumliche Einheiten (Erdteile, Regionen, Territorien und Orte)“ zu bezeichnen. [DÜRR 2002, S. 115–119]

¹³³ „Weitgehend“ heißt innerhalb des Maßes. Und das „Maß“ ist das Umschlagen einer Qualität in eine andere. Das wäre hier, wenn die kartografische Projektion so gewählt würde, dass notwendige Details nicht mehr dargestellt werden. Beim Überschreiten dieser Grenze würde die Qualität der Abbildung (das Was) in eine andere umschlagen.

Entsprechend der Bedeutung der Visualisierung von Daten für Analyse, Verständnis oder Kommunikation ist die Liste der Publikationen zu diesem Themenkreis unüberschaubar lang. Allein im Internet finden sich zum Suchwort „scientific visualization“ weit mehr als eine Viertelmillion Verweise. Darunter sind mehr als 12 000 Verweise, die auch den Begriff „Remote Sensing“ beinhalten. Den Großteil der im Internet auffindbaren Artikel zur „scientific visualization“ machen technische Aspekte einer rechnergestützten Präsentation, insbesondere das Rendering im weitesten Sinne aus. Deutlich geringer ist demgegenüber der Umfang, den die Visualisierung der Daten für deren Interpretation innerhalb der fernerkundungs- oder GIS-spezifischen Literatur ausmacht, was mit dem starken Trend zur automatisierten Auswertung und der damit verbundenen Nachsetzung visueller Interpretationstechnologien erklärt werden kann.

Hinsichtlich einer auf das Verstehen von Zusammenhängen gerichteten Visualisierung werden vor allem die physiologischen Eigenschaften des menschlichen Sehapparates [SÖLLNER 1982], [SCHUMANN & MÜLLER 2000, S. 68–112]. [ROBINSON ET AL. 1995, S. 325 f.], die Eignung der meist von [BERTIN 1982] übernommenen „visuellen Variablen“ (Position, Größe, Helligkeit, Farbe, Musterung, Orientierung, Form) für die Sichtbarmachung quantitativer, ordinaler oder nominaler Größen und Ableitung einer allgemeinen Methode zur effektiven Visualisierung von Daten [SCHUMANN & MÜLLER 2000]¹³⁴, [ROBINSON ET AL. 1995, S. 318 ff.]; [HAKE & GRÜNREICH 1994, S. 96 ff.] behandelt.

Schumann & Müller sprechen das Auffinden gedanklicher Zusammenhänge in Daten oder Klassifizierungsergebnissen explizit an [SCHUMANN & MÜLLER 2000]. Sie sehen das Ziel der wissenschaftlichen Visualisierung darin, „geeignete Repräsentationen bereitzustellen, die dem Wissenschaftler ein geeignetes Mittel in die Hand geben, mit dem er innere, sonst verborgene Zusammenhänge aufdecken kann.“ [ebenda, S. 5, sinngemäß auch S. 7 und S. 251]¹³⁵ „Der Anwender soll durch die Visualisierung in die Lage versetzt werden, sich ein mentales Modell der Daten und der mit ihnen verbundenen Prozesse zu bilden, das den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht und die zugrunde liegenden Zusammenhänge beschreibt.“ [S. 7 f.] Für die Bildung gedanklicher Zusammenhänge werden von Schumann & Müller folgende Strategien vorgeschlagen [ebenda, S. 64]:

- Visualisierung der Zusammengehörigkeit unterschiedlicher Merkmale eines Objekts (zum Beispiel farblich),
- Visualisierung der Abgrenzung verschiedener Objekte (zum Beispiel farblich, Positionierung),
- Visualisierung des Abstandes (relativ und absolut) zweier oder mehrerer Objekte zueinander,
- Gruppierung von Objekten durch überwachte oder unüberwachte Klassifizierung,
- Visualisierung von Rangfolgen entsprechend eines Merkmalswertes oder eines Verhältnisses von Merkmalswerten,
- Visualisierung von Gemeinsamkeiten und Unterschieden,

¹³⁴ Das Buch führt in die für die technischen Aspekte der Visualisierung wesentlichen Grundlagen ausführlich und umfassend ein. Dafür siehe auch [WARE 2004].

¹³⁵ Hier sei klar gestellt, dass gemäß Kapitel 3 Daten für sich genommen immer zusammenhangslos sind und die Zusammenhänge denkend gebildet werden müssen. Da der Zusammenhang immer gedanklicher Art ist können Fälle, bei denen ein Zusammenhang nur gedacht wird, nicht sinnvoll unterschieden werden von Fällen, in denen er „in den Daten verborgen“ [Schumann & Müller 2000, S. 7] oder „tatsächlich gegeben“ MacEachren [1995, S. 444] sei und nur sichtbar gemacht werden müsse. Dies zu unterscheiden und nur letztere kartographisch abzubilden versucht MacEachren [1995, S. 444 f]: „When we see a feature or spatial pattern that ‚makes sense‘, we are sometimes too easily convinced. In contrast to this tendency to find patterns where none exist, the extremes of data abstraction involved in collecting and processing data for geographic visualization can easily disguise or hide a pattern that is really there. With statistical analysis we have devised formal test to limit the likelihood of making these Type I or Type II errors. For geographic visualization we have no such tests.“

- Visualisierung vermutlicher und zufälliger Relationen,
- Visualisierung von Korrelationen

Mit GIS-gestützten Visualisierungstechniken können räumliche Beziehungen zwischen einer großen Vielfalt an Merkmalen effizient visualisiert werden, sofern die gesuchten Zusammenhänge in räumlichen Strukturen erscheinen. Die hier vorgeschlagenen Visualisierungen lassen sich mit Fernerkundungs- oder mit GIS-Software auf der Basis von Rasterdaten oder auf der Basis von Vektordaten ausführen. Im Weiteren [ebenda, S. 125 ff.] ordnen Schumann & Müller – gestützt auf [BERTIN 1982] und erweitert um moderne Visualisierungstechniken – den einzelnen Visualisierungszielen geeignete Darstellungsmethoden zu, worauf verwiesen werden kann.¹³⁶

Prinzipiell können Zahlen oder Zahlenkombinationen beliebiger Herkunft und Bedeutung in eine visuelle Wahrnehmung transferiert werden, um durch Nutzung der Kreativität des Sehvermögens in Erscheinungen Zusammenhänge erkennbar werden zu lassen. Im Kontext der Kapitel 3 und 4 stellt sich die Visualisierung folgendermaßen dar: Der erste Schritt besteht darin, Zahlenverhältnisse sinnlich wahrnehmbar zu machen, indem sie in Farb-, Helligkeits- und Richtungs-, Form-, Textur- oder Größenunterschieden abgebildet werden. Bei primär nicht räumlichen Daten gelingt eine Visualisierung auch durch Darstellung der Merkmalswerte in Form von Koordinaten, man spricht von „Darstellungen im Merkmalsraum“. Ein überzeugendes Beispiel dieses Vorgehens ist die Darstellung des Lorenz’schen Attraktors, Abbildung 43. Das Prinzip, Eigenschaften als Koordinaten darzustellen, kann auch Diagrammen oder Signaturen zugrunde liegen. Bei allen Verfahren besteht der Anspruch, die Zusammenhänge zwischen den numerischen Daten intuitiv erkennbar und – im Fall der Kommunikation: im gewünschten Sinn – verstehbar darzustellen.

Wie wird die Kreativität des Sehvermögens genutzt? Datenmerkmale werden so in sinnlich wahrnehmbare Merkmale übersetzt, dass die visuell-kognitiven, also auf die Interpretation der Sinnesempfindungen bezogenen Operationen, auch auf die Daten bezogen werden können [MÜLLER 2005]. Die beim Sehen ablaufenden kognitiven Prozesse dienen also als Modell für die Bildung der auf die Daten bezogenen gedanklichen Beziehungen. Die ständige Übung in der Zusammenfassung insbesondere visueller Sinneserlebnisse (die in bestimmten Richtungen und innerhalb von Bewegungen empfundenen Farben) zu Gegenständen des Anschauungsraumes macht Visualisierungen zur Exploration und Kommunikation komplexer Inhalte besonders geeignet: Die Visualisierung von Daten initiiert und unterstützt die Bildung gedanklicher Beziehungen zwischen den Daten also durch Übertragung der beim Sehen fortwährend ablaufenden kognitiven Prozesse auf die Daten. Beim Interpretieren der Visualisierungen werden durch die äußerlichen Merkmale der grafischen Darstellung hindurch Beziehungen zwischen den farblich (Fernerkundung) oder kartografisch kodierten Bedeutungen gebildet. Durch die Verwendung sogenannter assoziativer Farben und Formen (z. B. Gewässer werden blau dargestellt) werden diese Gleichsetzungen sinnlich erfahrbare Merkmale mit bestimmten Bedeutungen ausdrücklich evoziert. Da die Gesetze der Gestalttheorie angeben, wie Sinnesempfindungen zu Figuren zusammengefasst werden (siehe Abschnitt 3.1), können sie umgekehrt bewusst genutzt werden, um Zusammenhänge sichtbar werden zu lassen. Ob vom Interpretieren gefundene Zusammenhänge für die Daten tatsächlich gelten, ist gemäß der modellgeführten Vorgehensweise über ergänzende Datenerhebungen, Berechnungen und Erzeugung neuer grafischer Bilder in der nachfolgenden Verifizierung zu entscheiden [MÜLLER 2005].

Strukturen können in sehr vielfältigen Erscheinungsweisen erkannt werden: als Regelmäßigkeit einer Farbverteilung, eines Gradienten oder einer Bewegung. Wie bereits ausgeführt ist es – innerhalb des Maßes – von geringem Belang, dass die Farben und die Anordnung visualisierter

¹³⁶ Eine für die Herstellung von Papierkarten geeignete Teilmenge der grafischen Elemente und Attribute findet sich in [HAKE & GRÜNREICH 1994].

Daten von den Aufnahmebedingungen sowie den Parametern des Sensors, der Bearbeitung und der Visualisierung abhängen. Entscheidend ist die Erkennbarkeit der Regelmäßigkeit.

Wenn Visualisierung nicht auf Modellbildung zielt, sondern auf das modellfreie Verstehen der Zusammenhänge, dann muss sich dem Interpreten der gedankliche Zusammenhang aus einer Reihe von Beobachtungen erschließen (siehe Abschnitt 6.14). Der Interpret hat eine Idee zu entwickeln, die das in aller Mannigfaltigkeit der natürlichen Erscheinungen Gleichbleibende, Ruhende darstellt, aus welchem die Einzelphänomene hervorgegangen sein könnten.

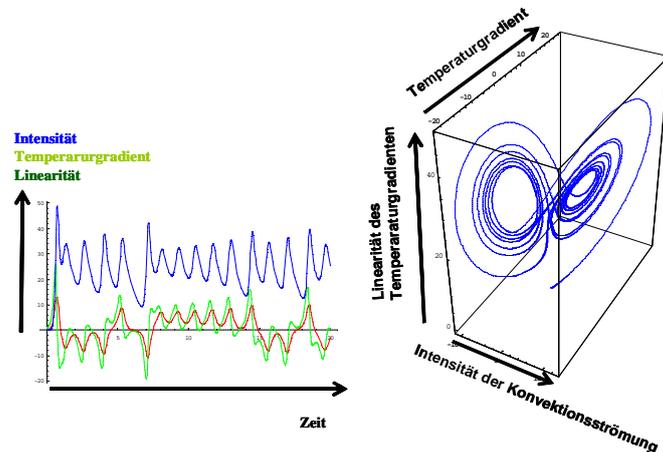


Abbildung 43 Die Gegenüberstellung der grafischen Darstellungen der drei Messgrößen in Abhängigkeit von der Zeit (links) und ihrer gegenseitigen Beziehungen (rechts) am Beispiel des Lorenzattraktors veranschaulicht den Grundgedanken der Visualisierung von Daten: Durch eine geeignete Visualisierung werden Zusammenhänge intuitiv verstehbar und effizient kommunizierbar. Noch drastischer wäre der Effekt, wenn die Umwandlung von tabellarisch gegebenen Daten in das rechte Diagramm dargestellt worden wäre.

Soll ein erreichtes Ergebnis nicht mit dem Ziel der Kenntnisnahme gedanklicher Inhalte, sondern mit dem Ziel der Bildung von Einsicht visualisiert werden, sind „versteckte Repräsentanzen“ dieses Zusammenhanges zu schaffen. Der Adressat hat den gedanklichen Zusammenhang selbst zu bilden. Mit dem Aufstellen der Beobachtungsreihen ist die Tätigkeit des Forschers beendet. Das Erzeugen der in einer Beobachtungsreihe versteckten Repräsentanzen, aus deren Studium der gesuchte gedankliche Zusammenhang emergiert, ist eine künstlerisch-kreative Tätigkeit.

8.7 Möglichkeiten der vermutungsfreien Erkundung bei der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten

Für die Umsetzung der im Kapitel 6 genannten Grundsätze der Naturerkundung innerhalb der visuellen Interpretation raumbezogener Bilddaten werden folgende Möglichkeiten gesehen.

8.7.1 Ästhetische Betrachtung visualisierter Geodaten

Zweifellos kann man Fernerkundungsbilder auf sich wirken lassen, also „ästhetisch betrachten“, Abbildung 44, Seite 134, möge als Beispiel dienen. Wenn man dies mit Fernerkundungsbildern versucht, muss man feststellen, dass der am Extrem der Farbflächen (Abbildung 18, Seite 36) besonders leicht erlebbare Prozess der eigenen Anschauungstätigkeit immer weiter zurücktritt, je gegenständlicher ein Bild ist, jedoch ohne ganz zu verschwinden. Wenn ein Gegenstand oder dessen Abbild beobachtet wird, ohne ihn sofort benennen zu können, kann auch bei einer Fernerkundungsszene ein Prozess des Anschauens bemerkt werden, wie man ihn von abstrakter Kunst kennt. Sowie der betrachtete Bildausschnitt benannt worden ist, was bei der Interpretation von Fernerkundungsbildern meist nur eine sehr kurze Zeit dauert, bricht das reine Anschauen ab. Je stärker Gegenstände erkannt werden, umso mehr wird die Wahrnehmung auf das Erkennen dieses Gegenstandes eingeschränkt. Die bildlichen Qualitäten werden nur noch als besondere Erscheinung des mit dem Begriff festgelegten Objektes gewertet. Der Begriff verdeckt das Er-

scheinen der Eigenwirkung des Bildes. Mit dem gefundenen Begriff des Gegenstandes ist die unmittelbare Wahrnehmung abgeschlossen, wenn nicht erfolgreich versucht wird, das Phänomen weiterhin auf sich „wirken zu lassen“.



Abbildung 44 Beispiel eines Satellitenbildes, bei dessen Betrachtung es nicht zu schwierig sein sollte, die Wirkung des Bildes erlebbar werden zu lassen. (Erläuterung: Die Richat-Struktur in der Mauretanischen Sahara ist gut aus dem Weltraum sichtbar, weil sie fast 50 Kilometer groß ist. Der Annahme, dass es sich um einen Krater handelt, steht ihre flache Form entgegen. Eher wird die von Sedimenten überlagerte Felsstruktur als ein durch Hebung verursachter Bergsattel mit nachfolgender Erosion angenommen. Das Bild wurde 2001 von LANDSAT 7 aufgenommen. (Quelle: http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0210/richat_landsat7_big.jpg, 28.10. 2002, zur Einordnung in die Landschaft siehe <http://photojournal.jpl.nasa.gov/catalog/PIA04963> oder http://www.brockmann-consult.de/ImageOfTheDay/3-d_images/mauretania.htm, 2.2. 2006)

Trägt die Erfahrung der Wirkung des Bildes etwas zur Begriffsbildung der abgebildeten Szene bei? Die Geofernerkundung ist ein mittelbares Beobachtungsverfahren: Statt der Erdoberfläche werden Bilder von ihr beobachtet. Da weder mit fotografischem Film noch mit optoelektronischen, akustischen, thermalen Sensoren Reproduktionen erzeugt werden können, die absolut dem entsprechen, was ein Beobachter unmittelbar an spezifischer Sinnesqualität empfinden würde, muss davon ausgegangen werden, dass mit Fernerkundung stets Verschiebungen der ursprünglich erfahrbaren Qualitäten verbunden sind. Diese Einschränkung gilt bereits für die in der Fernerkundung eher seltenen Normalfarbbilder, die den sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums für die Bilderzeugung nutzen. Der Regelfall sind jedoch Visualisierungen von Wellenlängenbereichen oder physikalischen Eigenschaften, die der Mensch überhaupt nicht unmittelbar sehen kann: Spektralbereiche im nahen, mittleren oder fernen Infrarot, Polarisationseigenschaften, Rechenergebnisse, vergleiche Abbildung 45. Bei der ästhetischen Betrachtung verändert sich der Charakter dessen, was man empfindet mit – physikalisch gesehen – kleinen Variationen: Beispielsweise ändert sich die Aussage eines gesprochenen Wortes bei Betonungswechsel, der Charakter einer Landschaft oder eines Porträts wird erheblich von der genauen Farbe, Form, Helligkeit, Oberflächenstruktur usw. bestimmt.¹³⁷ Da die für die ästhetische Bildbetrachtung

¹³⁷ Ob der gegenüber kleinen Änderungen empfindliche „Charakter“ für das – innerhalb des Maßes – robuste Was eines Phänomens bedeutsam ist, lässt sich erst nach dessen Bestimmung (Begriffsbildung) entscheiden.

wichtigen Changierungen und Tonwertdifferenzen von Sensor, Visualisierungssoftware und den Eigenschaften des Visualisierungsgerätes sowie den Beleuchtungseigenschaften bei der Bildbetrachtung abhängen, ist eine ästhetische Betrachtung von Visualisierungen instrumentell erhobener Geodaten für eine objektbezogene Begriffsbildung nur begrenzt einsetzbar. Denn das, was wir bei der Bildbetrachtung an Farbe, Helligkeit, Transparenz empfinden, ist maßgeblich von Aufnahmeverfahren, Bearbeitung und Visualisierung bestimmt.¹³⁸ (These 29)



Abbildung 45 Zur ästhetischen Betrachtung eines Falschfarbenbildes. Für diese Visualisierung des Mondes wurden geringe Differenzen in der spektralen Zusammensetzung der aufgezeichneten Bilddaten drastisch verstärkt. Aus dem Vergleich der Farben mit Bodenproben der Apollo-Mission wird gefolgert, dass die Farbverteilung Rückschlüsse auf die Chemie der Oberfläche zulässt: Blau gekennzeichnete Gebiete seien reich an Titanium, während orangene Gebiete an Titanium und Eisen arm seien. Bei einer ästhetischen Betrachtung haben die Farbqualitäten nichts mit dem Original zu tun. (Quelle: http://antwrp.gsfc.nasa.gov/apod/image/0602/Mooncolor060110schedler_35.jpg; 16.2. 2006)

Wie sehr selbst geometrische Messwerte vom Abbildungsprozess abhängen, verdeutlicht die aus den Anfängen der Fraktaltheorie bekannte rhetorische Frage nach der Länge der Küste Großbritanniens: Aus der Erdumlaufbahn gesehen sind es 1 500 Kilometer, vom Flugzeug aus 1 700, aus der Vogelperspektive 1 945, mit einem Messband 5 574, für eine Schnecke, die über jeden Kiesel gleitet 50 478 und für eine Amöbe 365 650 km.¹³⁹ Weil die Länge davon abhängt, was als Küstenlinie definiert und wie sie gemessen wurde, gibt es letztlich nicht eine Antwort, sondern unendlich viele. Aber der Zusammenhang zwischen den Bedingungen der Messung und dem Ergebnis ist nachvollziehbar. Da die Farbzuordnung zu den Fernerkundungsdaten jedoch willkürlich ist, ist es der Eindruck, den sie beim Beobachter hinterlassen ebenfalls.

Der Realitätsgrad von Ergebnissen ästhetischer Betrachtung von Luft- oder Satellitenbildern kann mit der Kunstbetrachtung verglichen werden. Inwieweit tatsächlich eine auf das Objekt, beispielsweise die Landschaft, bezogene Aussage aus den Bilddaten abgeleitet werden kann, ist – ähnlich wie in der Kunst – nur aus Vergleichen zu bestimmen: Wer die Horizontlinie in der Zeichnung von Abbildung 28, Seite 75, sieht, weiß, dass es die Wirkung der Formen der Horizontlinie auf den Bildbetrachter ist, die zwar am künstlerischen Bild erfahren wird, doch auch in

¹³⁸ Die Unabhängigkeit des Erkennens von der Qualität der Empfindung – ein und derselbe Gegenstand kann an gänzlich verschiedenen Qualitäten erkannt werden, wobei die Erlebniseigentümlichkeit keine Rolle für die begriffliche Fassung einer Erfahrung spielt – erlaubt eine sachfremde Farbzuordnung. Die darin erkannten Zusammenhänge beziehen sich jedoch auf die Beobachtung der transformierten Größen. Für die klassische Bildinterpretation ist die Falschfarbigkeit von untergeordneter Bedeutung, da sie wesentlich auf dem Sinneserkennen, nicht auf dem Sinnesempfinden basiert.

¹³⁹ Zahlen übernommen aus der Fernsehsendung „Mit Einstein ins Universum“, Arte, 16.10. 2005, 23.55 Uhr.

der Wirklichkeit gilt. In der Kunst bürgt der Künstler oder die Künstlerin dafür, dass die am Bild erfahrbare Wirkung in einer gültigen Beziehung zum Objekt steht. Aber schon da ist es unmöglich, konkrete auf das Original bezogene Aussagen zu gewinnen. Dies gelingt nur, wenn das Kunstwerk mit dem Original verglichen werden kann. Dann kann überprüft werden, welche am Bild gewonnenen Erkenntnisse am Original wiedergefunden werden können. Das Kunstwerk schult die Sinne für das Aufsuchen vergleichbarer Erfahrungen am Original. In dieser Weise können auch ästhetische Betrachtungen von Fernerkundungsbildern anregen, eigene Erfahrungen aufzusuchen.

Das Besondere einer Landschaft zeichnet sich durch eine ästhetische Einheit nach innen und durch die Unterscheidbarkeit (dieser Einheit von jener Einheit anderer Landschaften) nach außen aus [BÖHME 2000], vergleiche Abbildung 46. „Landschaft ist sinnwahrgenommene im Unterschied zur gedanklich erfaßten Natur.“ [FALTER 2000] Die Korrelation von Farben, Formen, Licht, Feuchtigkeit, Gerüchen, Wärme und Kühle sowie dem Verhalten von Tieren bilden einen Erscheinungszusammenhang, der ästhetisch als Einheit auch in den Fernerkundungsdaten erfahrbar ist. Der Zusammenhang ist nicht dinglich, sondern bildlich, atmosphärisch [FALTER 2000]. Übungen mit Studierenden der Landschaftsarchitektur zeigten, dass die ästhetische Einheit einer Landschaft im Luft- oder im Satellitenbild auffindbar ist, siehe Abbildung 46. Die Formensprache des Fernerkundungsbildes weist regelmäßig eine hohen Verbindlichkeit in Bezug auf das Original auf, im Gegensatz zum Erleben der farblichen Wirkung. Daher wird angenommen, dass es die Formensprache ist, die auch in falschfarbigen Fernerkundungsbildern den Charakter einer Landschaft erkennen lässt. Dort, wo Landschaft durch Integration ästhetischer und naturwissenschaftlicher Methoden wahrgenommen und beschrieben wird (goetheanistische Landschaftsforschung, Kulturlandschaftsforschung, Landschaftsarchitektur), kann Landschaftsforschung um die ästhetische Betrachtung visualisierter Fernerkundungsdaten ergänzt werden.

Wie in Kapitel 5 allgemein ausgeführt wurde, kann die ästhetische Wirkung auch eines Satellitenbildes unter Wahrung des Bezuges zur Wirklichkeit durch künstlerische Bearbeitung hervorgehoben werden. Beispielhafte Bearbeitungen von Luft- und Satellitenbildern, die den Charakter einer Landschaft im künstlerisch bearbeiteten Bild erlebbar werden lassen, sind die Bilder von Edmaier [EDMAIER 1999].

Wenn nicht die Sinnesempfindungen, sondern die dekodierten Bedeutungen die quasi-empirische Grundlage der Interpretation bilden (wie bei der Interpretation von Karten oder der Bildung von Funktionalbegriffen), ist die Unterscheidung zwischen objektzugehörigen und assoziierten, sachfremden Gedanken nicht leicht. Durch Konzentration und Aufmerksamkeit ist es möglich, erinnerte, aus Analogieschlüssen abgeleitete Deutungen und Empfindungen der eigenen Erwartungen, Sympathie oder des Wohlbefindens zu erkennen. (Die Kultivierung der Beobachtung ist eine Frage der Qualifikation.) Durch das Erkennen von außen herangetragenem, nicht in der Sache selbst begründetem Urteile können Spielräume für alternative Interpretationen sichtbar werden.

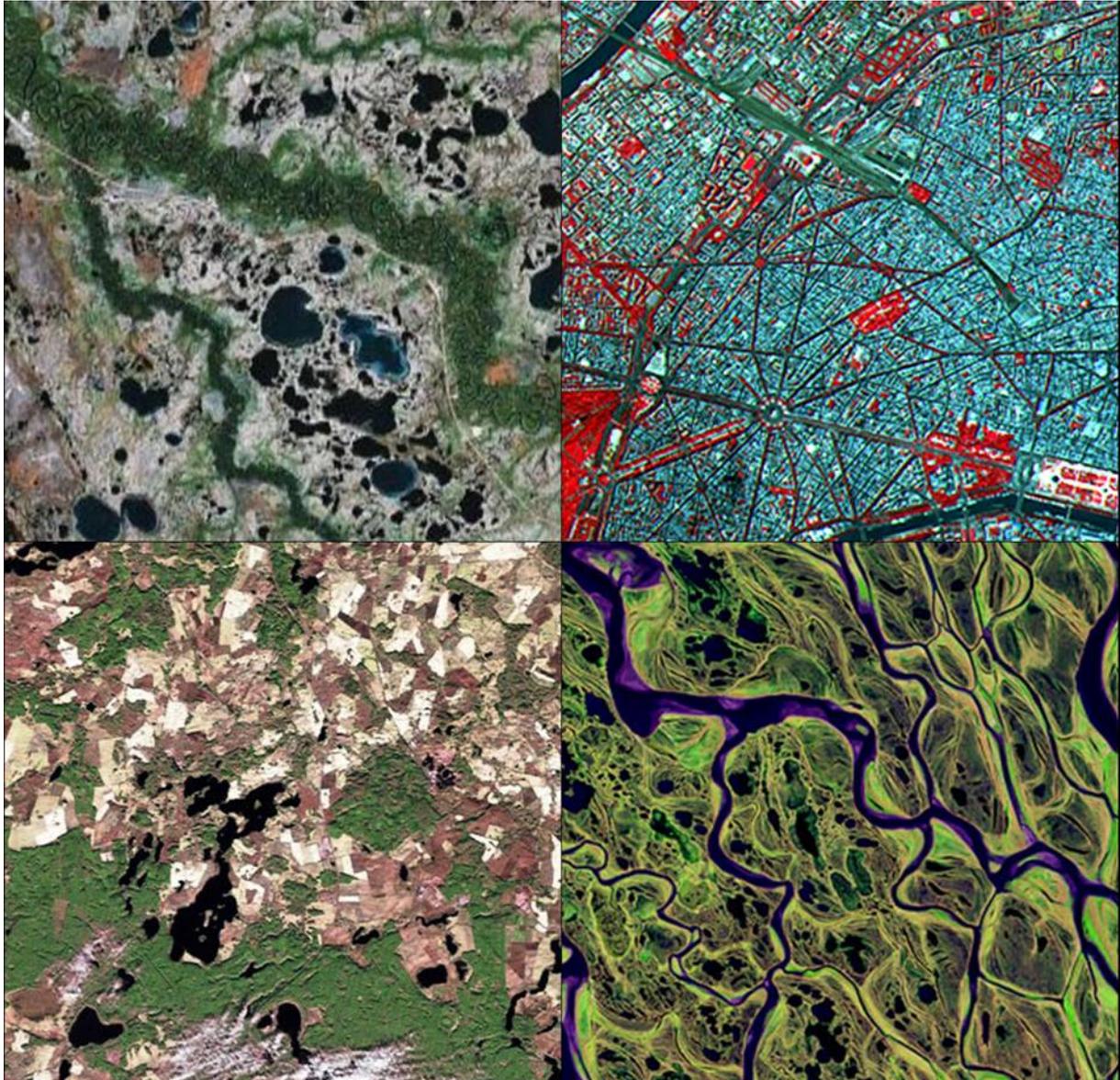


Abbildung 46 Die Einzigartigkeit einer Landschaft kann auch in den Fernerkundungsdaten beobachtet werden. (Oben links: Sibirien, Google Earth; Oben rechts: Tokio, ASTER, unten links: Mecklenburg, ASTER, unten rechts: Sibirien, Landsat TM)

Die auf die Interpretation der Sinneserlebnisse als Gegenstände aufsetzende räumliche Arbeitsweise kann mit Fernerkundung realisiert werden: Erkannte Dinge können in ihren räumlichen Verhältnissen studiert werden. Noch nicht vergegenständlichte Helligkeits- oder Farbverteilungen können ebenfalls in ihren räumlichen Relationen studiert werden.

8.7.2 Zur Objektbezogenheit

Die im Luft- oder Satellitenbild erkannten Inhalte sind ein mentales Produkt: Der Interpret baut sich das, was er sieht, in seinem Geiste auf. Aber die Interpretation ist nicht nur ein Konstrukt des denkenden Interpreten. Die Sinneserfahrungen offenbaren, was im Bild tatsächlich gegeben ist: Wo eine rote Fläche ist, sieht man rot und nicht blau oder grün. Aus dem Bild kommt nur das entgegen, was im Bild veranlagt ist. Interpretation ist sowohl vom Bild als auch subjektiv bestimmt. Sinn und Bedeutung des Bildes treten im Wechselspiel zwischen Sinneserleben und begrifflicher Strukturierung in Erscheinung. Dasselbe Bild kann unter unendlich vielen Gesichtspunkten interpretiert werden. In der Vielfalt möglicher Deutungen gibt es angemessenere und weniger angemessene. Was im einzelnen Fall angemessen heißt, ergibt sich aus dem übergeordneten Ganzen, dem Kontext. Damit der Prozess weniger mit Projektionen, mehr mit dem

tatsächlich Gegeben bestimmt ist, müssen äußere, gedankliche und auf das eigene Befinden bezogene Wahrnehmungen unterschieden werden.

8.7.3 Zur Vielfalt

Mit der technischen Abbildung ist eine Reduktion der Wahrnehmungsvielfalt verbunden. Bei unmittelbarer Beobachtung kann der Mensch sehen, hören, riechen, tasten. Die Betrachtung von Bildern spricht nur eine Teilmenge der wahrnehmbaren Qualität an.

Für eine umfassende Begriffsbildung ist die Vielfalt des Erscheinungsfeldes systematisch zu untersuchen. Die Vermannigfaltigung eines Phänomens in einer Versuchsreihe erfolgt im Geobereich nicht durch den Experimentator, der das Experiment in verschiedensten Varianten durchführt, sondern durch die Vervielfachung der Ansichten gemäß dem *Multikonzept der Fernerkundung*. Der Ansatz des Multikonzeptes kann genutzt werden, um aus den verschiedenen Ansichten, die sich ergeben, mit verschiedenen Sensoren, in verschiedenen Maßstäben, in verschiedenen Wellenlängenbereichen etc., den ordnenden Begriff zu entwickeln. Da im geowissenschaftlichen und im ökologischen Bereich keine Experimente durchgeführt werden, bezieht sich die spielerische Vervielfachung auf die Beobachtungsbedingungen und auf die Aufbereitung, nicht auf das zu untersuchende Phänomen.

8.7.4 Zur spielerischen Arbeitsweise

Das Ausprobieren möglicher Lösungswege ist durch die Entwicklung der Rechentechnik erheblich erleichtert und daher zu einem häufig angewendeten Verfahren geworden. Das gilt insbesondere auch für die Visualisierung von Geodaten, um innere, sonst verborgene Zusammenhänge aufzudecken. Für die Sichtbarmachung der in den Daten verborgenen Zusammenhänge können die Vorschläge von Schumann & Müller übernommen werden [SCHUMANN & MÜLLER 2000, S. 64]. Ohne Probleme kann ein Teil der Bearbeitungen auf Rasterdaten mit Fernerkundungssoftware, ein anderer auf Vektordaten mit GIS-Software ausgeführt werden, um durch spielerisch-experimentelle Variation thematischer Verknüpfungen oder Visualisierungsmodi nach möglichen Strukturen zu suchen. Das zu untersuchende geowissenschaftliche Objekt selbst kann jedoch nicht spielerisch untersucht werden.

8.7.5 Geomonitoring

Die Entwicklung der Geophänomene als Funktion der Zeit ist Gegenstand des Geomonitorings, zu deutsch: Dauerbeobachtung. Aus Dauerbeobachtungen können Änderungen abgeleitet werden: Man berechnet Differenzen oder Trends aus den zu unterschiedlichen Zeitpunkten erhobenen Mess- oder Klassifizierungsergebnissen. Geometrische Größen oder Zustände werden multitemporal gemessen, gegebenenfalls einer Klassifizierung unterzogen und die Änderung der Werte in Abhängigkeit von der Zeit modelliert oder selbst einer Klassifikation unterzogen. Für große Ausschnitte der Erdoberfläche, ob nun Landschaften, Naturräume oder administrative Einheiten sowie für regelmäßig durchgeführte Untersuchungen ihrer Entwicklung, ermöglicht nur die Kombination von Fernerkundungsquellen und verschiedenen GIS-Daten in einer digitalen Analyseumgebung die geforderte Flächendeckung und Flexibilität hinsichtlich unterschiedlicher raumwirksamer Prozesse. [BLASCHKE 2002] Durch die Möglichkeit, auch ganz unterschiedliche Daten miteinander zu verknüpfen, entsteht eine enorme Vielfalt multitemporaler Auswertungen, einen Überblick erhält man zum Beispiel bei [LU ET AL. 2004] oder [COPPIN ET AL. 2004].

Man ist aber auch frei, in der Reihe der Beobachtungen nach einer verbindenden Ordnung, nach Funktionalbegriffen zu suchen. Dabei sucht man gerade nicht nach dem, was sich verändert, sondern dem, was im Prozess der Änderung unverändert bleibt, dem Invarianten. Das Invariante ist hierbei aber nicht das rein äußerlich Unveränderliche, vielmehr zielt die Beobachtung eines Objektes zu mehreren Zeiten auf das Erfassen des sich gerade nicht verändernden Verände-

rungsprinzips: Denn jeder Veränderung liegt ein Transformationsprinzip zugrunde, das sich selbst nicht verändert.¹⁴⁰

„Dieses Prinzip ist eine im Fluß der Veränderung invariante Struktur, eben das konkrete Prinzip, gemäß dem die Art des Ablaufs der Veränderung bestimmt ist. Vom Standpunkt des erkennenden Subjekts aus braucht man ein solches Prinzip als begrifflichen Gesichtspunkt, um überhaupt Veränderungen eines Dinges, nicht: getrennte Dinge, feststellen zu können.“ [ZIEGLER 1996]

Um zu erkennen, dass aus A B geworden ist, brauche ich das hinter der Änderung liegende Gemeinsame von A und B, das Unveränderte. Andernfalls bleibt unbestimmt, aufgrund welcher Eigenschaft B als aus A hervorgegangen angesehen wird. Dies, ein wenig abstrakt Dargestellte, ist alltägliche Praxis: Gehe ich um einen Gegenstand herum, erhalte ich verschiedene Bilder. Die Körperlichkeit entsteht, wenn die Bilder als Ansichten gedacht werden können, die aus einem gemeinsamen Ursprung hervorgehen. Ein anderes Beispiel greift den temporalen Aspekt besser auf: Im Laufe eines Jahres ergeben sich vielfältige Beobachtungen einer Landschaft. Ihre Zusammenfassung¹⁴¹ trifft das Wesentliche umso besser, je mannigfaltiger die Beobachtungen sind. Das, was als diese Landschaft verstanden wird, ist keine Gemeinsamkeit der Äußerlichkeiten, sondern ein nur gedanklich wahrnehmbarer Zusammenhang.

J. Bockemühl beschreibt mehrfach (z. B. [BOCKEMÜHL, J. 1992, 1997]) die Annäherung an das, was bei einer Pflanze die äußere Gestalt hervorbringt durch das Erleben der Übergänge zwischen den einzelnen Phasen ihres Wachstums. In [BOCKEMÜHL, J. 1992] verwendet er Blattreihen verschiedener Wachstumsphasen. Bei der Betrachtung lässt er die einzelnen Bilder durch aktive gedankliche Umformung ineinander übergehen: „Die Blätter sind wie Fusstapfen einer sich im Unsichtbaren entwickelnden Pflanze: Was wir sehen und im Denken miteinander verbinden, ist das Ergebnis der Veränderung, die sich im Bildeprozess der Pflanze zwischen den Blättern vollzieht.“ Die Entwicklungsphasen einer Gestalt bilden eine zeitliche Ganzheit, die als solche ihre Glieder bestimmt. Sofern es gelingt, das strukturbildende Prinzip einer Vielfalt von Erscheinungen, den Funktionalbegriff, zu erkennen, hat man die Selbstorganisationsprozesse verstanden.

Was auf diesem Wege als erstes zu erreichen ist, ist die Erfahrung einer Geste: Der Betrachter ahmt beim Wahrnehmen der Geste gedanklich nach („Mimese“), was die Pflanze äußerlich tut, um sich die Bildebewegung bewusst zu machen. Die nachahmende Denkbewegung ist weit von einem Begriff der Art entfernt, wie wir sie für technische Gegenstände verwenden, wo der Begriff das Funktionsprinzip beschreibt, denn sie bezieht sich auf sinnlich wahrnehmbare, „äußerliche“ Merkmale. Aber die Zugangsweise, bewegliche Vorstellungen zu entwickeln, die verschiedene Entwicklungsabschnitte verbinden, ist eine Beobachtungsmethode, um sich bei Selbstorganisationsprozessen den hinter ihnen liegenden Zusammenhängen durch *Beobachtung* zu nähern. Zur Erklärung, warum aus statischen Bildern Prozesse rekonstruiert werden sollen, kann man sich zunächst daran erinnern, dass Fernerkundungsdaten festgehaltene Prozesse dokumentieren. In ihrer Unbeweglichkeit stimmen sie nicht mit dem Original überein. Mit der gedanklichen Bewegung nähert man sich dem Original wieder an. Um diese Methode für Gegenstände der Fernerkundung zu akzeptieren, braucht der Beobachter nicht an hinter den Erscheinungen liegende Kräfte zu glauben, aber er sollte für möglich halten, dass es einen gedanklich fassbaren Zusammenhang zwischen den Erscheinungen gibt. Diesem versucht er sich durch Beobachtung zu nähern.

¹⁴⁰ Als verdeutlichendes Beispiel eignet sich auch hier das Pendelgesetz.

¹⁴¹ Zur Klarstellung sei Folgendes angefügt: Wenn Müller aus Folgebildern verdichtete Aussagen durch „Vereinfachung und Zusammenfassung“ erzeugen will [MÜLLER 2005], ist eine Abstraktion gemeint. Darum geht es hier nicht, obwohl auch hier von „Vereinfachung und Zusammenfassung“ gesprochen werden kann. Sie meint hier jedoch nicht Abstraktion, sondern Rückführung auf einfache Zusammenhänge. „Zusammenfassung“ bezeichnet hier, wie gesagt, die Bildung eines geeigneten Funktionalbegriffes und nicht Generalisierung.

Die rhythmischen und die linearen Naturprozesse schaffen beobachtbare Zustände, die der ästhetischen Betrachtung unterzogen werden können – die Metamorphose der Gestalten. Nach Leuthold ist die ästhetisch erfahrbare Einheit (bei Leuthold: eine Landschaft) Ausdruck eines gedanklich fassbaren Verwandlungszusammenhanges, der sich aus der Abfolge der einzelnen sinnlich wahrnehmbaren Zustände ergibt. Er müsse als das die Entwicklungsphasen verbindende Prinzip gedanklich gefasst werden. „Je exakter wir das Wachsen, Werden und Vergehen der einzelnen Elemente in einer Landschaft beobachten, desto stärker werden wir dabei erfahren, daß sich der Ausdruck in unserem Inneren als der ganzheitliche Wesenszusammenhang dieses Landschaftsorganismus offenbart.“ [LEUTHOLD 1998]

Überträgt man den Gedanken, dass das verbindende Prinzip das Ziel der begriffsbildenden Interpretation ist, auf die Beobachtung von Zeitreihen, so hat der Deutungsprozess vom zeitlichen Nacheinander zum inhaltlichen Miteinander der beobachteten Objekte und Erscheinungen zu führen. Geomonitoring richtet sich somit auf das Erkennen genetischer Begründungen der jeweiligen Erscheinungsformen. Sein Ziel ist es, Ideen zu entwickeln, die das Gleichbleibende in den zeitlich variierenden Erscheinungen fassen. Man hat also nicht „detaillierte Veränderungen aufzudecken“ [HILDEBRANDT 1996, S. 339] und deren Gradienten zu bestimmen, sondern gerade das Invariante in den temporären Erscheinungsweisen, die Gesetzmäßigkeit der ablaufenden Prozesse, zu suchen. Für die Bildung von Funktionalbegriffen kommt es nicht darauf an, die Aufnahmebedingungen während des Monitorings beizubehalten, sondern es gilt, das qualitativ Typische möglichst gut sichtbar werden zu lassen (siehe Abschnitt 6.7).

8.7.6 Fazit

Wegen der im Bereich der Geowissenschaften fehlenden Möglichkeit, Experimente durchzuführen, kann bei geowissenschaftlichen und ökologischen Phänomenen regelmäßig nur eine eng begrenzte Vielfalt eines Phänomenfeldes untersucht werden, diese jedoch gemäß dem Multikonzept der Fernerkundung mit verschiedensten Beobachtungsverfahren: Variation des Sensors, des Maßstabes, des Beobachtungszeitpunktes, des Wellenlängenbereiches und mit Fusion mit einer großen Vielfalt weiterer räumlicher und nicht räumlicher Daten.

Würde man die vorgeschlagene Methode beispielsweise auf ein Ökosystem oder auf eine Landschaft anwenden, verlöre man sich in der unendlichen Vielfalt der Erscheinungen, Beobachtungsbedingungen, Gesichtspunkte und Kontexte. Die Vervielfachung der Beobachtungsvarianten ist nur dann mehr als eine Vorstufe, wenn es gelingt, die Einzelbeobachtungen so aneinander zu reihen, dass sich ein gedanklicher Zusammenhang ergibt. Wenn sich aus dem Einen das Nächste ergibt, ist das Verbindende als die Einsicht in die Beziehungen, die allen Variationen als regelnder Faktor zugrunde liegt, erreicht. Die starke Überprägung der Erscheinungsweise eines Ökosystems oder einer Landschaft schon allein durch Wechsel der Beleuchtung und der Vegetation in Kombination mit realen Fernerkundungsbeobachtungsmöglichkeiten inklusive der in der Forschungspraxis vorhandenen finanziellen und personellen Rahmenbedingungen verhindern die praktische Anwendung dieser Methode auf derart komplexe Gebilde. Dafür wird es für erforderlich gehalten, die Vielfalt auf überschaubare Teile zu *reduzieren* und diese dann durch explorative Beobachtung zu erforschen.

Für eine explorative Forschung insgesamt ergibt sich: Sie ist mit Geofernerkundung nur eingeschränkt möglich. (These 29) Denkt man an den immensen Aufwand, der in anderen Bereichen betrieben werden muss, um Experimente durchzuführen, ist die Geofernerkundung nicht der einzige Bereich, in welchem das Testen von Hypothesen quasi alternativlos ist.

8.8 Erklärungsuntergründe

Die Funktionsweise der Beobachtungsmethode Fernerkundung wird anhand strahlenförmig vorgestellter Lichtausbreitung erklärt. Das gilt besonders auch in der Photogrammetrie. Die Grundlage bilden Strahlen, obwohl niemand Lichtstrahlen beobachten konnte. Die Interaktion mit der zu passierenden Atmosphäre und die Abbildung von Objekteigenschaften auf den Fernerkun-

dungssensor sowie Multispektralität oder Polarisierung werden anhand von Wellen- oder Teilchenvorstellungen dargestellt, in starker Abstraktion vom Sehen. Die Grundlagen der Fernerkundung handeln von Vorgängen, die außerhalb und unabhängig vom sehenden Auge verlaufen: Die objektiven Gesetze der Wechselwirkung von Licht und Materie wurden ausdrücklich unter Ausschluss der menschlichen Sehfähigung gewonnen, da diese als fehlerbehaftet, täuschungsanfällig und deshalb als ungeeignet angesehen wird, die Grundlage für eine physikalische Optik abzugeben. Insofern kann diese als „Optik ohne Auge“ [PLANCK 1919]¹⁴² bezeichnet werden. Was ist Optik dann?

„Optik als Mechanik: Bereits in den Arbeiten von Descartes, Huygens und Newton wird die Aufgabe des Naturforschers darin gesehen, die sichtbaren Erscheinungen als Wirkungen mechanischer Ursachen zu betrachten: Erst dadurch, dass es gelingt, optische Phänomene auf die räumliche Gestalt, Lage und den Bewegungsmodus zu reduzieren, werden sie zum wissenschaftlichen Phänomen erhoben. Dieses Vorgehen hat sich bis heute als äußerst erfolgreich erwiesen, wenn das Hauptziel darin besteht, optische Effekte berechenbar zu machen und technisch nutzen zu können. Dass Schwingungen, Wellenlängen, Phasen, Frequenzen keine Observablen sind, sondern indirekt erschlossen werden, ist erst im Zusammenhang mit der quantenmechanischen Zustandsbestimmung problematisiert worden (Heisenberg 1925, Mueller 1948).“¹⁴³

Zu den Gebieten, die bisher am gründlichsten mit dem vermutungsfreien Ansatz ausgearbeitet wurden und deren praktische Ergebnisse seit einigen Jahren erste Verbreitung in Schule und Hochschule gefunden haben, gehört die Optik. Theilmann & Maier zeigen in ihrer Untersuchung des klassischen Drehspiegelexperimentes zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit nach Foucault (1854) und Michelson (1927), dass die Vorstellung einer Bewegung des Lichtes keineswegs zwangsläufig ist. Der von ihnen vorgestellte methodische Ansatz ließe sich nach Ansicht der Autoren auf alle bekannten Experimente zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit verallgemeinern. Auch wenn die üblichen Modellvorstellungen nicht falsch und für technische Entwicklungen zweckmäßig sind, halten Theilmann & Maier den erscheinungsorientierten Blick auf das Experiment nicht für eine reine Geschmacksfrage, sondern er eröffne „den Gehalt moderner physikalischer Konzepte. Die populären metaphysischen Konzepte in der Physik lassen sich so vermeiden – ob Emission, Absorption oder Transport von Licht, all das lässt sich prinzipiell nicht beobachten und wird auch nicht gebraucht.“ [THEILMANN & MAIER 2003] Damit besteht für die Bildung eines stärker erfahrungsbasierten Verständnisses die realisierbare Aufgabe, die Grundlagen der Fernerkundung auf eine modellfreie Physik zu stellen. Modellfrei heißt: ohne Einführung nicht beobachtbarer Ursachen.

Eine phänomenologische Untersuchung des Lichtes findet sich bei [GSCHWIND 2004, S. 121 f.], ich übernehme sein Ergebnis in Stichworten:

- Die Lichtgeschwindigkeit sei keine Geschwindigkeit des Lichtes, sondern eine Geschwindigkeit, mit der sich Änderungen am Licht fortpflanzen.
- Die Wellenlänge sei eine Hilfsgröße, die aus mathematischen Überlegungen und bestimmten Phänomenen konstruiert wird.
- Beim Licht seien keine Wellen zu beobachten wie in der Akustik, beobachtbar sind Knoten und Bäuche in Form von Helligkeitsgeraden. Es gäbe keine Hin- und Herbewegung.
- Der Begriff der Phase sei ein aus Phänomenen gewonnener sinnvoller Begriff.

¹⁴² Siehe <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/index.html>, 31.8. 2005.

¹⁴³ Zitiert nach <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/index.html>, 31.8. 2005.

9 Aspekte der Ausbildung

Inhalt der Methode des verständigen Beobachtens ist es, den Erscheinungen eine eigene Würde und eine eigene Sprache zuzugestehen. Dies ist besonders für junge Menschen von Bedeutung, denen ja in der Ausbildung nicht nur Wissen beigebracht, sondern durch die Art, wie dies geschieht, zugleich ein ganz bestimmter Weltzugang nahegelegt wird. Dieser sollte nicht von grundsätzlichem Misstrauen in die Sinne und damit in einen selbstständigen Erkenntniszugang zur Welt und zu sich selbst geprägt sein. [...] Ein im Sinne der Phänomenologie eröffneter Weltzugang ist immer Zugang eines einzelnen Menschen; er fordert die leibliche Anwesenheit, das Selbsthinsehen, den Mut, die eigenen Sinne zu gebrauchen. Nur ihr Gebrauch führt auch zu ihrer Ausbildung und Tauglichkeit zu sicherer Beobachtung.¹⁴⁴

In der in Kapitel 6 vorgeschlagenen Beobachtungsmethode nimmt der individuelle Mensch einen zentralen Platz im gesamten Erkenntnisprozess von der Beobachtung bis zur Begriffsbildung ein. Die Produkte seiner Wissenschaft sind daher in noch stärkerem Maße von seinen Fähigkeiten abhängig, als es bei einer Wissenschaft ist, die sich ganz entscheidend auf instrumentell erhobene Messwerte stützt.

Das Vertrauen in die Sinneswahrnehmung hat seine Rechtfertigung in den voranstehenden Darlegungen. Hier sei nun Platz, um einige Aspekte der Ausbildung der bei der qualitativen Forschung in besonderer Weise beanspruchten Fähigkeiten zu besprechen.

9.1 Unterscheidung der Sinneswahrnehmungen

Eine praktische Schwierigkeit für die Deutung der Sinnesempfindungen ist ihre Verflechtung mit Behagensempfindungen des Lebenssinnes. Beispielsweise kann die Empfindung einer Farbe durch die synästhetische Verbindung zu Qualitäten des Lebenssinnes für subjektiv gehalten werden. Dies ist etwa der Fall, wenn ein Beobachter eine Sinnesempfindung als angenehm oder als bedrohlich erlebt. Dabei handelt es sich jedoch nicht um Unterschiede in der Farbempfindung, sondern um die genauen, die physiologische Wirkung der Farbe auf die jeweilige Körperkonstitution widerspiegelnden Lebensempfindungen [SCHEURLE 1984, S. 89 unter Verweis auf KRETSCHMER 1966, BLASIUS 1943, GEBERT 1977]. Ein erstes Ziel der Wahrnehmungsschulung liegt daher in der willentlichen Unterscheidung der verschiedenen Sinnesmodalitäten. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Unterscheidung zwischen gedanklichen Vorstellungen und tatsächlichen Sinneserfahrungen:

„Oft glauben wir Dinge zu sehen, während sie in Wirklichkeit nur gedacht worden sind. Gewöhnlich schließen wir an einen flüchtigen Farbeindruck den entsprechenden Gedanken, das Farbwort an: Wir wissen, ‚das‘ ist Rot! Sehen wir es tatsächlich in seiner unaussprechlichen Qualität, wie es z. B. ein Künstler sieht?“ [SCHEURLE 1984, S. 63]

Der Vorstellung, z. B. eine bestimmte Farbe sehen zu wollen, folgt erst dann ein unmittelbarer Farbeindruck, wenn wir die Aufmerksamkeit vom Vorstellungsbereich weg auf den farbigen Sehbereich richten. Im ersten Fall ist eine Gedankenwahrnehmung gegeben, die den Vorstellungsinhalt der Farbe betrifft, im zweiten wird tatsächlich eine Farbe erfahren.

9.2 Qualifizierung der Sinnesorgane

Bekanntlich können Sinne geschult werden, denn der Geübte sieht mehr als der Anfänger: Der Maler hat ein Auge für feinste Farbnuancen, die Musikerin hat ein feines Gehör, der Maurer sieht sofort, wie gerade eine Wand verputzt ist usw. „Verschärfte Beobachtung geht mit vertieftem

¹⁴⁴ Übernommen von <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/wissenschaft.htm>, 17. Januar 2006.

Erkennen in ständiger Selbstverstärkung einher.“ [BARTEL 1970]. Zur Schulung der Wahrnehmung hat sich der Wechsel von Beobachtung und Wiedergabe des Beobachteten aus der Erinnerung besonders gut bewährt [BOCKEMÜHL, J. 1992a]. Die Wiedergabe kann in Form einer Beschreibung oder in künstlerischer Form erfolgen. Am besten eignen sich für diese Übung Naturdinge, da an ihnen unendlich viele Merkmale beobachtet werden können. Hilfreich ist es, das Ergebnis der eigenen Wiedergabe im Anschluss wieder mit dem Original zu vergleichen. Die Sinnesschulung richtet sich an dieser Stelle auf das Erfahren der Einheit in der Mannigfaltigkeit jedes Modalbereiches. Man hat die Invarianten zu begreifen, durch welche die polaren Sinneserlebnisse konstituiert sind.

Inwieweit ein Reiz wahrgenommen wird, hängt von der Aufmerksamkeit und den Gedanken ab, die dem Gegenstand zugewendet werden, der genauer erfasst werden soll: Will man ihn kennenlernen oder nichts mit ihm zu tun haben? Das Sinnesorgan wird durch die entsprechende Gedankenrichtung zur Wahrnehmung befähigt. Von der gedanklichen Hinwendung gehen Impulse zur Schärfung der Sinne aus. Scheurle zeigt am Beispiel der Hand, wie ihre Vielseitigkeit und Gewandtheit als Greif- und Tastorgan von der lernenden Anpassung an die aktuelle Tätigkeit abhängt [SCHEURLE 1984, S. 82]. Mit anderen Worten: Inwieweit ein Reiz wahrgenommen wird, hängt auch von den Gedanken ab, die dem Gegenstand zugewendet werden, der genauer erfasst werden soll. Das Sinnesorgan wird durch die entsprechende Gedankenrichtung zur Wahrnehmung befähigt.

9.3 Abbilden (Malen, Zeichnen, Beschreiben)

Das naturwissenschaftliche Zeichnen unterstützt erstens die bewusste Erfahrung der Sinnesempfindungen, weil eine genaue Beobachtung die Grundlage jeder, auch der künstlerischen Zeichnung ist. Zweitens vertieft sie in der Anfertigung der Zeichnung die Erfahrung der wahrgenommenen Formen: Das eigene Zeichnen zwingt zu intensiver Selbstbetätigung, die zum Teil auch ein Nachahmen (Mimese) ist. Die gesehenen Formen werden in der zeichnenden Bewegung nachvollzogen und dabei nicht nur – über die Augenbewegung – körperlich erfahren. Zeichnen und Malen unterstützen auch das Erfassen von Zusammenhängen.

Naturwissenschaftliches Zeichnen wird in beschreibenden Disziplinen wie Botanik oder Geologie noch praktiziert und – meist in Spezialekursen außerhalb des Studienplanes – gelehrt [FISCHER 1999]. Es gerät jedoch – trotz des Wissens um seine Bedeutung für die Bildung von Verständnis für das Dargestellte – durch den technischen Fortschritt, die bildaufzeichnenden und bildwiedergebenden Verfahren immer mehr ins Abseits.

9.4 Lösen von Denkgewohnheiten

Erfahrung spielt bei der Entwicklung neuer Gedanken eine mehrfache Rolle. Gedanklich verarbeitete Erfahrungen bilden das Begriffsnetz, in das die aktuelle Beobachtung einzuordnen ist. Je mehr Erfahrungen in der vergangenen Lebensgeschichte bereits gesammelt worden, desto vielfältiger sind die Beziehungen, unter denen die aktuelle Beobachtung gesehen werden kann, und umso umfassender wird die Verknüpfung zu anderen Begriffen ausfallen. Gleichzeitig wächst die Gefahr, für das Erkennen in alte Denkmuster zu fallen; eine entdeckte Ähnlichkeit kann dazu verleiten, ein bekanntes Schubfach aufzuziehen und die aktuelle Beobachtung analog einer vorhandenen zu interpretieren. Um dieser Eingleisigkeit zu begegnen, sind folgende Übungen hilfreich:

- (a) Verschiedene Definitionen einer Sache werden zusammengetragen, verglichen, Gemeinsamkeiten und Unterschiede herausgearbeitet und Vor- und Nachteile bewertet.¹⁴⁵ Auf diese Weise wird der Blick für die Vielfalt von Sichtweisen geschärft.
- (b) Denken in zeitlich umgekehrter Abfolge. Eines der stärksten Denkmuster ist die Abfolge der Beobachtungen entsprechend einer angenommenen Ursache-Wirkungs-Beziehung. Diese Denkrichtung führt von einem Schritt, einer Folge von Ursache und Wirkung, zum nächsten Schritt, der nächsten Folge von Ursache und Wirkung. Dreht man die zeitliche Abfolge gedanklich um, können sich Causa-finalis-Zusammenhänge ergeben: Plötzlich wird einem deutlich, dass eine Reihe von Ereignissen als Vorbereitungen zu einem späteren angesehen werden könnten. Ausgehend von der objektiv gleichwertigen Interpretation als causa efficiens oder causa finalis könnten beide Interpretationen nebeneinander stehen. Während die Folge „Ursache-Wirkung“ zu einer technischen Simulation führt, lässt die Umkehrung der Abfolge einen Sinn erkennen. Um Missverständnisse zu vermeiden, sei klar gestellt, dass das Ziel dieser Übung nicht in einer autosuggestiven Verfälschung der Beobachtung einer Bewegung besteht, sondern im Offenhalten alternativer gedanklicher Interpretationen. Begriffe sind Zusammenhänge. Was als Ursache-Wirkungsfolge zusammenhanglos erscheint, kann unter dem Aspekt eines Sinnes sehr wohl als zusammenhängend erscheinen.
- (c) Das Einnehmen alternativer Standpunkte ist nicht nur für das Finden weiterer begrifflicher Beziehungen nützlich, sondern auch für das Lösen persönlicher Sympathien oder Abneigungen. Die – in anderen Beziehungen sinnvolle – Bevorzugung positiver Aspekte (oder bei pessimistischer Veranlagung: der Schwierigkeiten) führt zur Ausblendung gegenteiliger Interpretationen. Die vorsätzliche Einnahme dieser sonst vernachlässigten Sichtweisen kann Blickwinkelverengungen entgegenwirken.
- (d) Die Unabhängigkeit von persönlichen Eigenarten kann auch durch Konzentrationsübungen gefördert werden. Bei diesen kommt es darauf an, die Gedanken für einige Minuten bei einer Sache zu belassen und assoziativen Ablenkungen keinen Raum zu geben.

9.5 Zur Begriffsbildung des Raumes und zum sinnlichkeitsfreien Denken

Zur Begriffsbildung des Raumes werden Bewegungsübungen als förderlich angesehen: Abschreiten, Figuren laufen. Ebenfalls als Vorübung kann das Basteln Platonischer Körper angegeben werden: „Die Platonischen Körper, diese fünf vollkommensten Raumgestaltungen, sind es aber gerade, welche das reichste Auftreten geometrischer Zusammenhänge darbieten und damit am meisten Anregungen zur Belebung des Denkens vermitteln.“ [BARAVALLE 1959, S. 7] Für den allmählichen Übergang in das begriffliche Denken empfiehlt sich das Geometrielehrbuch, welches Baravalle selbst verfasst hat [BARAVALLE 1957], da es den dynamischen Aspekt in der darstellenden Geometrie betont. Der Einstieg in die projektive Geometrie kann durch allgemein verständliche Vorübungen, wie sie beispielsweise in [BERNHARD 1984] gegeben werden, erfolgen, um einzusehen, dass das konsequente Weiterdenken der gewohnten, am Endlichen gewonnenen Anschauungen zu einem unendlich fernen Punkt in jeder Gerade führt. Die Fruchtbarkeit der Beschäftigung mit nicht euklidischen Geometrien nicht nur für die Bildung einer projektiven Raumauffassung, sondern für die Schulung des Denkens überhaupt, zeigt sich darin, dass anhand der Beschäftigung mit diesen Geometrien das Bewegen in begrifflich vorgegeben strengen Bahnen geübt wird. Dies führt zur Fähigkeit eines Denkens, das der Stütze der Sinnesanschauung nicht bedarf.

¹⁴⁵ Herrn Professor Hans-Peter Bähr, TU Karlsruhe, danke ich für den Hinweis auf die in einer Lehrveranstaltung zu Geoinformationssystemen praktizierte Analyse verschiedener Definitionen des Begriffes „Geoinformationssystem“.

9.6 Zur Didaktik erfahrungswissenschaftlicher Tatsachen

In den vorhergehenden Abschnitten wurden Hinweise zur Ausbildung von Fähigkeiten gegeben, die für den Erfolg phänomenologisch orientierter Forschung wichtig sind. In die Lehre erfahrungswissenschaftlich begründeter Erkenntnisse gehört die Erfahrung gedanklicher Zusammenhänge, wenn sie das Konzept modellfreier Wissenschaft konsequent umsetzen soll. Eine wesentliche Grundlegung erfahrungsbasierten Lernens ist für den Schulunterricht von Martin Wagenschein (1896–1988) ausgearbeitet worden, siehe beispielsweise [WAGENSCHHEIN 1968]. Wagenschein-Didaktik kann als Lehrmethode verstanden werden, die das verstehende Denken an die Stelle einer Belehrung setzt. Sie ist sozusagen ein Lehrprozess ohne Belehrung. Am Anfang steht eine provozierende Unwissenheit, die das bisherige Wissen massiv infrage stellt. (Durch ihr Potential, bekannte Denkgewohnheiten in Frage zu stellen, ist hier eine Möglichkeit gegeben, Kunst in den Unterricht einzubeziehen.) Mit diesem Chaos wird die Freiheit für eine schöpferische Gedankenbewegung geschaffen. Aus der Unwissenheit heraus wird nach und nach das Erscheinungsfeld durch den Lernenden geordnet, möglichst ohne dass der zuvor schon Wissende als Besser-Wissender erklärt. Physik-Vorlesungen zeigen, dass auch in Hochschulvorlesungen experimentiert werden kann. Damit steht die Aufgabe, die Inhalte eines Lehrgebietes auf verschiedene Lernformen zu gliedern. Konventionelle Lernmethoden (Bücherstudium, Labornutzung) und eingeschränkt auch moderne Lernformen (interaktive Tutorials, E-Learning, virtuelle Labore¹⁴⁶, Programmierung) stehen sowohl für die autodidaktische Wissensaneignung als auch für das Verstehen durch spielerisches und exploratives Experimentieren bereit. Die Verständnisgrundlagen der hier relevanten Geoinformatikfächer werden jedenfalls für geeignet gehalten, nach den von Wagenschein entwickelten Grundlagen auch an Hochschulen gelehrt zu werden. Das kann geschehen, indem ein unmittelbar einleuchtendes Beispiel das Prinzip einer Technik erkennen lässt, die wegen der höheren Genauigkeit oder Operativität wesentlich komplexer aufgebaut ist.

¹⁴⁶ Allerdings bedarf der Ersatz unmittelbaren Experimentierens durch Simulationen in virtuellen Laboren einer kritischen Prüfung, damit die Wirklichkeit und nicht das hinter der Simulation stehende theoretische Modell erfahren werden kann. Sofern die sogenannten Störeinflüsse nicht mit simuliert werden, ist der Verzicht auf reale Experimente bereits fragwürdig.

10 Wertung der Ergebnisse

10.1 Theorie der visuellen Interpretation von Daten der Fernerkundung

Das Ziel dieser Schrift ist die Entwicklung von Verständnis für die Entstehung und den Charakter der durch visuelle Interpretation raumbezogener Daten erlangten Erkenntnisse. Es wurde erreicht durch die Bildung begrifflicher Bezüge zu philosophischen, kognitiven, wahrnehmungspsychologischen, kunstwissenschaftlichen und ästhetischen Kategorien und ohne ein neues hypothetisches Modell des Erkenntnisprozesses zu bilden.

Es wurde dargestellt,

- wie sich die Bildung gedanklicher Zusammenhänge konsequent empirisch, also ohne weltanschauliche Vorgaben und nicht aus Sicht einer speziellen Sinneslehre ergibt;
- welches Potenzial die visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten für die Bildung gedanklicher Zusammenhänge besitzt und
- wie den Naturwissenschaften zugrunde liegende Paradigmen voraussetzungsfrei erforscht werden können.

Mit der entwickelten Methode lassen sich zwei Ziele erreichen: Zuerst dient sie der Begriffsentwicklung, nicht jedoch schnellerem Erkennen. Insofern steht sie nicht in Konkurrenz zur Künstlichen Intelligenz. Da sie auf der Beobachtung eines Ordnungsprozesses basiert, trifft sie keine Aussage über die Ursache dieses Ordnungsprozesses. Sie setzt auch nicht die Annahme eines bestimmten Ursachenzusammenhanges voraus. Damit kann der umgekehrte Weg der Mehrheit der Wissenschaftler gegangen werden, die sich an der naturwissenschaftlichen Methode orientieren, um ihre Gegenstände zu bestimmen. Und in Bezug auf die Basisbegriffe einer Naturwissenschaft kann an die Stelle gedanklich-philosophischer Bestimmungen eine erfahrungsbasierte Begriffsentwicklung treten.

Das Streben nach den Bedingungen des Erscheinens eines Phänomens (statt nach vermeintlichen Ursachen) ist nicht nutzlos, denn das ist es, was auch einen Techniker tatsächlich interessiert: Wie kann diese oder jene Wirkung zuverlässig hervorgerufen werden. Erklärungen via vermutliche Ursachen sind dafür nicht wichtig. Diese Methode ist damit durchaus pragmatisch.

Carl Friedrich von Weizsäcker wird unterstellt, sinngemäß gesagt zu haben, dass Philosophie diejenigen Fragen stelle, die nicht gestellt zu haben, das Erfolgsrezept der Naturwissenschaft sei [PIETSCHMANN 1969]. Auch die Deutung der für die Geoinformatik grundlegenden Begriffe wie Raum, Zeit, Zahl, Messung, Objektivität, Realität oder Eigenschaften obliegt nach allgemeinem Verständnis der Naturwissenschaftler und Techniker zunächst den Geisteswissenschaften, insbesondere der Philosophie. Die Notwendigkeit, dass wissenschaftliche Methoden immer etwas als fraglos voraussetzen müssen, mit dem sie rechnend oder schließend operieren können, brachte Heidegger auf die Formel: „Die Wissenschaft denkt nicht.“¹⁴⁷ Er erläuterte diesen Satz später in einem Radiointerview so:

„Dieser Satz bedeutet, die Wissenschaft bewegt sich nicht in der Dimension der Philosophie. Sie ist aber, ohne dass sie es weiß, auf diese Dimension angewiesen. Zum Beispiel die Physik bewegt sich im Bereich von Raum und Zeit und Bewegung. Was Bewegung, was Raum und was Zeit ist, kann die Wissenschaft als Wissenschaft nicht entscheiden.“ [HEIDEGGER 1969]¹⁴⁸

¹⁴⁷ M. Heidegger in einem von ihm autorisierten Radio-Interview aufgenommen und erstmals gesendet 1969, als Wiederholung gesendet am 18.05. 2006, 22.00 Uhr, MDR-Kultur.

¹⁴⁸ Ebenda.

Mit dem Bezug auf die noch nicht interpretierte, reine Sinnesempfindung ist es sehr wohl möglich, zu bestimmen, was Raum, Zeit oder Bewegung ist. Mit den dargestellten Eckpunkten einer konsequent empirischen Grundlegung der Erkenntnis ist das Stellen der Frage nach dem Was eines Phänomens aus der Philosophie heraus in den naturerkennenden Bereich transferiert worden. Auf diese Weise wird auch die Bildung grundlegender Begriffe Gegenstand der Wissenschaften, nicht der Philosophie. Die mit dieser Methode gewonnenen Antworten können sowohl zu technischen Entwicklungen Anlass geben, als sie auch durch ihre empirische Begründung einem Wandel der Modellvorstellungen in weit geringerem Maße unterliegen. Das hat seine Ursache in der Wahl des Ausgangspunktes. Mit der Entscheidung, die Sinnesempfindungen an den Anfang zu stellen, kann danach gefragt werden, was der Physik immer schon vorausgesetzt ist.¹⁴⁹

Der Rückgriff auf die aus der Philosophie bekannte Differenzierung zwischen Nominal- und Funktionalbegriffen ermöglicht eine prägnante Unterscheidung zwischen dem Benennen eines Merkmalskomplexes und seinem Verstehen. (These 30) Das Finden des verbindenden Prinzips hat für die Sichtweise der Selbstorganisation eine große Bedeutung: So wünschenswert bestimmte ökologische *Zustände* sind, die Fähigkeit des Ökosystems, bestimmte Zustände *hervorzubringen*, hat eine größere Bedeutung, denn sie ist entscheidend sowohl für die Nachhaltigkeit der Ressourcennutzung als auch für die Bewertung von Belastungen. Folgerichtig wendet sich das wissenschaftliche Interesse zunehmend dem Bildeprozess und den dafür notwendigen Bedingungen zu. Da andererseits nur einzelne Zustände beobachtet werden können, stellt sich die Frage, wie aus den Teilbeobachtungen ein wirklichkeitsnahes Verständnis für die den Zuständen zugrunde liegenden Prozesse entwickelt werden kann. Diese Fragen, sowie jene, wie der Mensch die Welt erkennen und verantwortlich gestalten kann, wenn er gleichermaßen selbstständig und Teil dieser Welt ist, wurden mit den hier entwickelten Beobachtungskriterien hinsichtlich der Erkundung überregionaler Phänomene mit Fernerkundung beantwortet.

10.2 Zu den nichttechnischen Grundlagen der Geoinformatik

Die atomistische Naturphilosophie, Grundlage der physikalischen und biologischen Wissenschaften des industriellen Zeitalters, hat entscheidend zum Siegeszug der modernen Naturwissenschaften beigetragen. Sie behauptet, die Materie sei aus kleinsten, nicht weiter zerlegbaren Bausteinen aufgebaut, und dass sich das Naturgeschehen aus den Eigenschaften und den Bewegungen dieser Bausteine erklärt. Mit der Entwicklung der Quantentheorie erfuhr das atomistische physikalische Weltbild eine überraschende Veränderung. Die materielle Realität wird nun nicht länger als die Summe von Teilen, sondern als ein Ganzes begriffen, in dem alles miteinander in Wechselbeziehung steht. Moleküle, Atome, Elektronen, Quarks oder Strings sind nicht eigenständige Bausteine der Materie, sondern existieren nur dank ihrer Wechselwirkung mit der Umgebung.

Jedem reduktionistischen Ansatz muss die Definition der Explananda vorausgehen. Die vorliegende Untersuchung rückt das Finden dieser dem Wissenschaftsbetrieb vorausgehenden Definition in den Mittelpunkt. Die hier vorgestellten Kennzeichen einer empirisch fundierten Generierung von Begriffen und die Anwendungsmöglichkeiten bei der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten zeichnen sich dadurch aus, dass ihnen (als Ausdruck einer konsequenten Auslegung des Primates der Erfahrung) elementare Wahrnehmungserfahrungen zugrunde liegen, keine Erkenntnistheorie oder spezielle Sinneslehre.

Mit dem Versuch, auch die Begriffsbildung in die Selbstorganisation des Erkenntnisprozesses einzubeziehen, ist zugleich der Versuch verbunden, sie nicht durch neue zu ersetzen, sondern über die Standardisierung als solche hinauszugehen. Allerdings bedeutet der angestrebte Verlust

¹⁴⁹ Das Umgekehrte gilt nicht, denn Messergebnisse bedürfen immer schon der Wahrnehmung und des gedanklichen Bezuges, um überhaupt zur Kenntnis zu gelangen.

der Grenzen traditioneller Standards wie Mathematisierbarkeit und Quantifizierbarkeit auch den Verlust der Maßstäbe.

Die entwickelte Methode wurde an einem Grundbegriff von Vermessung, Fernerkundung und Geoinformatik erprobt, am Raumbegriff. Die reale *Erfahrung* des Raumes gründet auf realen Bewegungsformen. Die gedankliche, sinnliche oder physische Erfahrung von Bewegung bildet die Grundlage des Wissens von Räumen in ihren verschiedenen Qualitäten. Bevor räumliche Größen gemessen werden können, sind Beobachtungen als räumliches Nebeneinander abgegrenzter Körper zu interpretieren. Die Erkenntnis der Abhängigkeit der geometrischen Eigenschaften des Raumes von den jeweiligen raumkonstituierenden Größen ermöglicht die Integration verschiedener Raum-Zeit-Konzeptionen.

10.3 Der Begriff des Raumes als Erkenntnismittel

Die auf Grundlage der entwickelten Methode durchgeführte Darstellung des Zusammenhanges von phänomenologisch-philosophischem Raumbegriff und der Geometrie leistet einen Beitrag zur Klarstellung und Systematisierung. Bei der konsequent empirischen Arbeitsweise sind Begriffe Erkenntnismittel, statt vorgegebene Denkmuster zu sein. Die Einführung einer Metrik im projektiven Raum und die bedarfsangepasste Spezialisierung des mathematisch-geometrisch gefassten Raumbegriffes ist ein methodisch anderes Vorgehen als die Interpretation der Phänomene in einem vorgegebenen Denkmuster, dem euklidischen Raum. Dabei ist deutlich geworden, dass die euklidische Metrik, so verbreitet sie auch ist, eine spezifische Interpretation der Wirklichkeit ist. Ein unvoreingenommener Forscher hätte dort zu prüfen, wie diese Darstellung mit dem beobachteten Phänomen vereinbar ist und wo aus strukturellen Gründen die Möglichkeit besteht, Elemente nicht euklidischer Geometrien zu verwenden; liefern geometrische Alternativen adäquatere Beschreibungen der Phänomene? Erinnert man sich, dass nur das gesehen werden kann, was auch gedacht werden kann, kann die Systematisierung der Geometrien zu neuen Beobachtungsergebnissen führen. (These 25)

11 Schlusswort: Ästhetik und Ethik

Können und Kennen driften in einer auf Handlungsmöglichkeiten zentrierten Naturwissenschaft immer weiter auseinander: Die technischen Möglichkeiten in Physik, Biologie und Medizin sind viel größer als das Verständnis der Naturdinge. Einer der zentralen Gründe für diese Kluft liegt in der Forschungsmethode: Hypothese und Verifikation sind weniger umfangreich und weniger aufwändig als explorative Forschung, die sich intensiv mit einem Phänomenfeld auseinandersetzt. Technologien sind schneller entwickelt als das Vermögen ihre Folgen und Implikationen zu durchschauen und zu beurteilen. Nun „kann man ein Problem nicht mit den gleichen Denkstrukturen lösen, die zu seiner Entstehung Anlass gegeben haben.“ [EINSTEIN]¹⁵⁰ Auf die Frage nach einem anderen Umgang mit der Natur kommen Wissenschaften in den Blick, die man in Abgrenzung an den Reduktionismus der neuzeitlichen Naturwissenschaft „phänomenologisch“ genannt hat. Der vorliegend entwickelte Beobachtungsansatz richtet sich auf das Verstehen der Wirklichkeit, wie sie von sich aus ist. Er setzt einen Akzent auf das vermutungsfreie Verstehen der Phänomene, nicht auf deren pragmatische technische Simulation. Er wurde begründet, vertieft und auf die indirekte, d. h. instrumentell vermittelte Beobachtung erweitert. Das Ergebnis reicht über Fernerkundung und Geoinformatik hinaus in andere Bereiche der Naturerkundung.

Aus dem Bisherigen kann der Eindruck einer Gegenüberstellung von Sinnesempfindungen des Ganzen und sinnes-erkennender Zerlegung entstehen. Wir bedürfen der die Ganzheit zerstörenden Analyse jedoch nicht nur für die Befriedigung unseres Erkenntnisstrebens. Wir brauchen die zerlegende Analyse und die kausale Synthese für unsere eigene Befreiung aus der Herrschaft der Natur. Um eine Handlung durchzuführen, muss sich der Handelnde stets für anderes blind machen. Denkvorschriften und exakte Definitionen – sie sind nicht weniger als die Grundlagen technisch orientierter Naturwissenschaft – blenden die übergeordneten Gesetze aus und ermöglichen Handeln.

Die wirklichkeitsfremde Simulation von Natur durch mechanistische Erklärungen – in holistischen Streitschriften vielfach geschmäht – war Voraussetzung nicht nur für unseren Wohlstand, sondern auch für unsere Freiheit und damit für unser Menschsein und sogar für die ästhetische Wahrnehmung, wie J. Ritter unter Bezug auf die Landschaft ausführt:

„Die zum Erdenleben des Menschen gehörige Natur als Himmel und Erde wird ästhetisch in der Form der Landschaft zum Inhalt der Freiheit, deren Existenz die Gesellschaft und ihre Herrschaft über die Objekt gemachte und unterworfenen Natur zur Voraussetzung hat. Der Naturgenuss und die ästhetische Zuwendung zur Natur setzen so die Freiheit und die gesellschaftliche Herrschaft über die Natur voraus. Wo Natur zu der Gewalt wird, die ihre Ketten zerbricht und den Menschen, den schutzlos Gewordenen, fortreißt, da waltet im Furchtbaren der Schrecken, der blind ist. Freiheit ist Dasein über der gebändigten Natur. Daher kann es Natur als Landschaft nur unter Bedingung der Freiheit auf dem Boden der modernen Gesellschaft geben.“ [RITTER, J. 1963, S. 162]

Und Natur als Landschaft beruht auf Technik, kausal-mechanisch reduzierter Natur. Aber an der ästhetisch vermittelten Landschaft zeige sich,

„daß die gleiche Gesellschaft und Zivilisation, die dem Menschen in der Verdinglichung der Natur die Freiheit bringt, zugleich den Geist dazu treibt, Organe auszubilden, die den Reichtum des Menschseins lebendig gegenwärtig halten, dem die Gesellschaft ohne sie weder Wirklichkeit noch Ausdruck zu geben vermag.“ [ebenda, S. 163]

Ästhetisch betrachtende Schöngeister an einem Ufer, der ganzheitlichen Natur Gewalt antuende Naturwissenschaftler und Techniker am anderen. Wir sind daran gewöhnt, Dichtung, Kunst und Philosophie für sich getrennt zu sehen.

¹⁵⁰ Zitiert nach Bernhard Harzer Verlag GmbH, Karlsruhe ISSN 1618-8063, gis-report-news***, Ausgabe 7/2004 vom 29. März 2004.

„Wo aber gefragt wird, was es heißt, daß zur modernen Welt Natur als Landschaft gehört und warum Dichtung und Kunst die an sich in der Wissenschaft begriffene Natur ästhetisch wiederholen, wird man genötigt, die Isolierung des Ästhetischen hinter sich zu lassen und die Natur als Landschaft aus dem Verhältnis zu begreifen, in dem sie zur Gesellschaft und ihrer durch die Wissenschaft vermittelten ‚objektiven‘ Natur steht.“ [ebenda, S. 158]

Einen Ansatz, ästhetische Betrachtung und tätiges Gestalten zu vereinen, zeigt Ritter, wenn er die englische Gartenkunst des 18. Jahrhunderts als „Einbruch des ästhetischen Naturverhältnisses in die alte vorästhetische Welt des Gartens und der Gartenkunst“ versteht. Auch wenn es dabei zuerst um etwas aus der Nutzung Herausgelöstes ging, sei es doch Natur, der „Gewalt angetan ist, um sie zu zwingen, Darstellung ihrer selbst zu sein.“ [ebenda, Fußnote 61]

Dabei geht es nicht um eine Natur vor dem Sündenfall, sondern um Landschaft als Gegenstand der Gestaltung. Letztlich hebe die totale Besiedlung und Ausbeutung des Bodens den Gegensatz von Natur und Garten auf. „So wird zur Notwendigkeit, was zu Beginn des Industriezeitalters ein Vergnügen großer Herren war: die Gestaltung der Landschaft“ [RITTER, J. 1963, Lucius Burckhardt zitierend] als „zum Gebrauch und zum Vergnügen des Menschen eingerichtete Natur“ [ebenda, Fürst Pückler zitierend]. Der Sinn ästhetisch bestimmter Handlung, der Garten- oder Landschaftskunst, liegt neben der Erholungsfunktion im „Sichtbarmachen des Unsichtbaren“. Dieser Erkenntniswert des Künstlerischen kommt auch den nach malerischen Prinzipien gestalteten Landschaftsgärten zu.

Besser erkennbar ist der Wert ästhetischer Betrachtung für die Planung von Eingriffen in die Natur an ihrem Beitrag zur Bildung angemessener Begriffe. Der Handelnde unterwirft sich den Naturgesetzen, um sie zielgerichtet auszunutzen. Möchte er Natur nicht (mindestens partiell) beherrschen, sondern im Einklang mit ihr leben, genügt es nicht, Natur ausschnittsweise technisch zu simulieren, sondern er muss versuchen, sie zu *verstehen*. Dies kann durch vermutungsfreie Begriffsbildung angestrebt werden.

Die bewusste Erfahrung des Zusammenpassens von sinnlichkeitsfreiem Begriff und Sinneserfahrung ist Grundlage der Ethik, denn wir gestalten die Welt nach unseren Begriffen. Ein hypothesenfreies Naturerkennen ist notwendig, weil eine Theorie nicht theoretisch bleibt, sondern allmählich Gesinnungen und Handlungen bestimmt. „Theorie hat moralische Konsequenzen.“ [HEUSSER 2000] Es macht einen Unterschied, als was etwas angesehen wird. Zunächst wird das Handeln des Wissenschaftlers von seiner Einstellung geleitet, auf Dauer dringt dessen Sicht in die moralische Gesinnung weiter Bevölkerungskreise und kann im negativen Fall die natürlichen und sozialen Lebensgrundlagen gefährden. Mit ästhetischer Betrachtung können wir wegkommen von Projektionen und Vorwissen hin zu angemessenen Gesichtspunkten (vgl. [BOSSARD 2000]).

Vermutungsfreier Begriffsbildung kommt eine Brückenfunktion zwischen bislang getrennt behandelten Wissenschaftszweigen zu, woraus ein neues Weltverständnis resultiert, in welchem der Mensch nicht als Beherrscher und Ausbeuter der Natur auftritt, sondern wo der Mensch selbst und seine von ihm geschaffene Kultur verstanden wird als Vollendung eines sich selbst organisierenden Ganzen.

Handeln im Einklang mit einer sich selbst organisierend vorgestellten Natur kann „Win-win-Strukturen“ [NAVEH & LIEBERMAN 1984] hervorbringen. Unter die Naturgesetze beugt sich auch der Techniker. Gegen die Gestaltbildung in Selbstorganisationsprozessen geht er jedoch meist mit technischem Schaffen vor. Würde er sie stattdessen achten, könnten Natur und Mensch als Gewinner dastehen. Dies könnte verantwortliches Handeln genannt werden.

Der Künstler vermag die unverstellte sinnlich-manifeste Wahrheit sichtbar zu machen¹⁵¹, er tut dies durch Gestaltung. Damit ist Ästhetik Produktion von Wirklichkeit¹⁵². Im künstlerischen Tun

¹⁵¹ Nietzsche, zitiert nach [SCHWEIZER & WILDERMUTH 1981, S. 29 f.].

¹⁵² Fiedler, zitiert nach [SCHWEIZER & WILDERMUTH, 1981, S. 31 f.].

wird „Unsichtbares sichtbar“ und – sofern es dem Lebensvollzug dient – geistig, seelisch und leiblich fruchtbar. Mit der kreativ künstlerischen Gestaltung der Lebensbereiche steht dem Menschen eine lebendige Zukunft im Einklang mit der Natur offen. „Kreativ“, „geistig und seelisch fruchtbar“ ist künstlerisches Schaffen an sich immer. „Leiblich fruchtbar“ ist es darüber hinaus, wenn es auf die Befriedigung unserer materiellen, sozialen und hygienischen Lebensnotwendigkeiten gerichtet ist. Im künstlerischen Tun wird ein Aspekt ausgewählt, aufgegriffen und gestaltend verstärkt. Als Beispiel könnte man an die Tätigkeit eines Architekten denken: Standort, Funktion und Gestaltung werden in das Stadtbild und in die Lebensprozesse eingepasst. Je mehr das gelingt, umso höher wird die nachhaltige Fruchtbarkeit sein. Gewissermaßen ist hier für den Bereich der sinnlichen Erkenntnis wiederholt, was oben – zugegeben: recht theoretisch – in Bezug auf das Sinnes-Erkennen entstand: Das Verstehen der Lebensverhältnisse, wie sie sind (sowohl auf der gedanklichen Ebene sowie unbewusst, Sinn-empfindend) ist Voraussetzung für ihre nachhaltige Gestaltung.¹⁵³

In einer Zeit der ökologischen Lebensgefahr kommt der sinnlichen Wahrnehmung besondere Bedeutung zu. Empfindungen der Schönheit und Erhabenheit einerseits und Anteilnahme an ihrem Zustand andererseits bedingen sich gegenseitig. Wo die Welt empfindend wahrgenommen wird, ist sie mehr als ein Selbstbedienungsladen für menschliche Interessen mit ihren katastrophalen Folgen. Man geht mit dem, was man kennengelernt hat anders um als mit etwas Abstrakten und Anonymen.

¹⁵³ Logisch ist der Gedanke zirkulär: Nach der Erweiterung der Ästhetik über das Gebiet des Künstlerisch-Gestalterischen hinaus in die Wissenschaft, verwundert es niemanden, dass Ästhetik auch im Bereich der Wissenschaft angewendet werden soll. Aber ob dies tatsächlich sinnvoll ist, ist logisch nicht zu klären. Deswegen ist der begrifflich-sachliche Zusammenhang durchaus angebracht.

12 Kurzfassung

Die Fähigkeit, in Luft- und Satellitenbildern Objekte wiederzuerkennen, kann folgendermaßen erklärt werden: Aus der Kenntnis einer Landschaft und ihrer Abbildung im Bild werden Interpretationsregeln entwickelt, die bestimmten Kombinationen von Bildmerkmalen wie Farbe, Form, Größe, Textur oder Kontext festgelegte Bedeutungen zuordnen. Kommt es nicht auf das Wiedererkennen mit festen Wahrnehmungsmustern an, stellt sich die bislang offene Frage nach einer wissenschaftlichen Kriterien genügenden Methode, wie der gedankliche Zusammenhang zwischen den Sinneswahrnehmungen erfasst werden kann.

Die Erfahrung von Umkehrbildern und optischen Täuschungen führt zur Frage nach dem festen Element bei der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten. Galileis Antwort, Messwerte als Ausgangspunkt naturwissenschaftlicher Erkenntnis zu nehmen, löst die Mehrdeutigkeiten und Unsicherheiten gedanklicher Interpretationen nicht auf, denn zu jeder Zahl gehört bereits eine gedankliche Bestimmung darüber, was sie bedeutet: Äpfel, Birnen, Höhendifferenzen ... Daher muss für die begriffliche Interpretation der Wahrnehmungen ein anderer Ausgangspunkt bestimmt werden: Weder kann der Mensch beobachten oder wahrnehmen, ohne seine Erlebnisse gedanklich zu fassen und zu ordnen, noch ist die Sinnesempfindung ein subjektives, vom Gegenstand abgespaltenes, nur persönliches Erlebnis. Wahrnehmung realisiert sich als Einheit von Wahrnehmendem und Wahrgenommenen. Demzufolge gibt es keine binäre Unterscheidung von objektiver Tatsache und subjektiver Interpretation. Wahrnehmung findet zwischen den Polen reiner Empfindung eines gegebenen und sinnlichkeitsfreien Denkens statt. Die reinen Erlebnisqualitäten der Sinnesempfindungen (warm, kalt, hell, rau) stellen sich als die am wenigsten von der subjektiven gedanklichen Interpretation abhängigen Elemente des Erkenntnisprozesses dar. Diesem Verhältnis von Beobachtung und gedanklicher Deutung entspricht ein phänomenologischer Untersuchungsansatz. Mit ihm bekommen Erfahrungen als absolute Elemente der Wahrnehmung primäre Bedeutung, gedankliche Interpretationen werden zu Abhängigen. Daher werden in der Untersuchung Ergebnisse phänomenologischer Arbeiten bevorzugt. Auch die eigene Bearbeitung des Themas geht von einer konsequent empirischen Position aus.

Um einen Sachverhalt zu verstehen, genügt es nicht, bei den Sinnesempfindungen stehen zu bleiben, denn zu ihrem Verständnis fehlt der gedankliche Zusammenhang, die Erlebnisse müssen begrifflich interpretiert werden. Dabei ist die Doppelrolle der Begriffe von entscheidender Bedeutung: In der Analyse grenzen sie innerhalb des Erfahrungsfeldes Teilaspekte gegeneinander ab, welche in der Synthese durch dieselben Begriffe gedanklich verbunden werden. Diese Funktion der Begriffe wird ausgenutzt, um Wiedererkennen und Bildung von Verständnis zu differenzieren: Die Interpretation der Erfahrung nach a priori vorgegebenen Mustern zielt auf das Wiedererkennen. Im Gegensatz dazu emergiert Verständnis im Prozess der Begriffsbildung aus den Beobachtungen: Man sucht erst nach einer Gliederung, welche eine gedankliche Synthese plausibel erscheinen lässt.

Das Konzept der Selbstorganisation hat in der Ökologie mechanistische Vorstellungen weitgehend abgelöst und im letzten Jahrzehnt auch in die Technik Eingang gefunden. Mit den Worten dieses Konzeptes kann die Begriffsbildung als Erkenntnisprozess beschrieben werden, in welchem sich gedankliche und nichtgedankliche Wahrnehmungen selbst organisieren.

Sinnesempfindungen haben auch in anderen Zugangsweisen zur Natur eine dominierende Stellung. Daher können Goetheanismus, wissenschaftliche Ästhetik und Kunst zu einer voraussetzungslosen Naturerkundung beitragen. Die nahe Verwandtschaft von Phänomenologie, Ästhetik und Kunst lässt künstlerisches Schaffen als Vervollkommnung des in der Natur Veranlagten erscheinen.

Weitere Querbeziehungen ergeben sich aus der Interpretation topografischer oder thematischer Karten oder sonstiger visualisierter raumbezogener Daten. Parallelen und Unterschiede werden herausgearbeitet.

Moderne Naturwissenschaft ist quantitativ. Daher ist zu klären, was mathematische Modellierung zur Verständnisbildung beiträgt. In diesem Teil der Arbeit ist es der folgende Gedanke, welcher über die hinlänglich bekannte Nützlichkeit mathematischer Modellierungen, Vorausberechnungen und Simulationen hinausgeht: Die Mathematik überzeugt durch ihre logische Strenge in der Ableitung und Beweisführung: Aus Obersatz und Untersatz folgt die Konklusion. Eine Beobachtungsmethode, bei welcher eine Beobachtung an die nächste gereiht wird, so dass sich das Eine aus dem Anderen ergibt, wobei kein Sprung die Folge unterbricht, käme der Notwendigkeit eines mathematischen Beweises gleich. Diese strenge Folge des Einen aus dem Anderen tritt in der wissenschaftlichen Argumentation an die Stelle der spontanen Intuition mit Verifikation, Falsifikation und bestätigendem Beispiel. Auf diese Weise kann durch die Anwendung der mathematischen Methode eine realitätsnahe Begriffsbildung erreicht werden.

Die bis hierher dargelegten Aspekte der Wahrnehmung, der Ästhetik, der Kunst und der Mathematik werden in der Methode einer voraussetzungslosen Begriffsentwicklung zusammengefasst. Damit ist das Hauptziel der Untersuchung, die Entwicklung einer auf das Verständnis gerichteten erfahrungsbasierten Beobachtungsmethode, erreicht. Die Abhandlung wird mit der Anwendung der entwickelten Methode auf einen Grundbegriff der Geoinformatik in folgender Weise fortgesetzt:

Für die Geoinformatik ist der Raumbegriff von grundlegender Bedeutung. Daher bietet es sich an, diesen Begriff unter Anwendung der entwickelten Methode zu untersuchen. Unter phänomenologischen Gesichtspunkten stehen Raum und Zeit in einem engen Zusammenhang. Beide werden in der Bewegung erfahren. Interpretiert man Bewegung mit den Begriffen des Nebeneinander und des Nacheinander, entsteht Wissen von Raum und Zeit. Mit anderen Worten: Die am Leib erfahrene Bewegung wird durch Interpretation mit dem Raumbegriff zur Vorstellung durchlaufener Orte. Je nachdem, welche Sinneserfahrungen, allgemeiner: Beobachtungen, zugrunde gelegt werden, hat der Raum unterschiedliche geometrische Eigenschaften. Die Erfahrungen des Tastsinnes begründen euklidische Beobachtungen. Die Begriffe Raum und Zeit haben für die Verständnisbildung eine fundamentale Bedeutung. Mit ihrer Hilfe können die Erlebnisse als zugleich und nebeneinander oder als nacheinander geordnet werden. Sie ermöglichen Erkenntnis durch Analyse und Synthese.

Wesentliches Motiv der Untersuchung ist die Frage nach der Bildung von Verständnis im Rahmen der visuellen Interpretation. Das Erkennen von Objekten stellt sich als synästhetische Synthese der Sinnesempfindungen und gedanklicher Inhalte dar. Unterschiedliche Gewichtungen der Gedankeninhalte lassen zwei Vorgehensweisen unterscheiden: 1, Für das Erkennen von Neuem ist es von grundlegender Bedeutung, dass die gedanklichen Inhalte den nichtgedanklichen Sinnesempfindungen untergeordnet sind, das heißt von diesen modifiziert werden können. Vorgesuchten Begriffen kommt die Rolle von Hypothesen zu. 2, Beim Wiedererkennen haben gedankliche Inhalte eine dominierende Rolle – anhand von Interpretationsmerkmalen sollen Bildinhalten Bedeutungen zugewiesen werden. Das Bild wird hierzu nach Bildflächen mit solchen Kombinationen von Farben, Formen, Mustern, Texturen und räumlichen Anordnungen durchsucht, die dem zu suchenden Begriff entsprechen können. Oder das Bild wird, bei Verwendung einer Art Beispielschlüssel, nach Übereinstimmungen mit kompletten Bildmustern durchsucht. Auch das ist eine Form des Wiedererkennens.

Um ein Phänomen zu verstehen, kommt es darauf an, in der Regelmäßigkeit der äußeren Form den Zusammenhang zu entdecken, der den verschiedenartigen Ausgestaltungen als regelndes Element zugrunde liegt. Dazu muss über eine Klassifizierung von Interpretationsmerkmalen hinausgegangen werden. Die gedankliche Auseinandersetzung mit den visualisierten Repräsentanten der Phänomene unterstützt die Bildung eines solchen ideellen Zusammenhangs, welcher das

in aller Mannigfaltigkeit der natürlichen Erscheinungen Gleichbleibende, Ruhende darstellt, aus welchem die Einzelphänomene hervorgegangen sein könnten. Die Funktionen beschreiben die Wechselwirkungen zwischen den räumlichen Elementen, welche sich in Austauschprozessen von Energie, Material und Stoffen ausdrücken. Überall dort, wo räumliche Anordnung ein Ausdruck funktionaler Beziehungen ist, unterstützt die visuelle Wahrnehmung der räumlichen Beziehungen die Einsicht in die sachlichen.

In den Schlussfolgerungen wird die Visualisierung von Geodaten als Mittel zur Sichtbarmachung des Zusammenhanges zwischen den Erscheinungen charakterisiert. Die Bezugnahme zur Fernerkundung führt zu der Feststellung, dass die Anwendung der vorgeschlagenen Forschungsstrategie im Bereich der Geofernerkundung nur eingeschränkt möglich ist.

Der vorliegende Schriftsatz thematisiert die Grundlagen der Fernerkundung und Geoinformatik. Ausgehend von der These, dass gedankliche Beziehungen Verständnis bedeuten, wird Wert auf Querbeziehungen gelegt. Das spiegelt sich in zahlreichen Fußnoten sowie in Bezügen zwischen fachspezifischen, wissenschaftsmethodischen, künstlerischen und in der Wahrnehmungslehre beheimateten Begriffen wider.

13 Literatur

- Aeppli, W.** 1996 Sinnesorganismus, Sinnesverlust, Sinnespflege. Stuttgart: 1. Auflage der Neuausgabe, 150 S.
- Albertz, J.** 1970 Sehen und Wahrnehmen bei der Luftbildinterpretation. *Bildmessung und Luftbildwesen* 38. S. 25–34.
- Albertz, J.** 1997a Sehen, Wahrnehmen und die Wirklichkeit. In: Albertz, J. (Hrsg.). Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten. *Schriftenreihe der Freien Akademie*, Band 17. Berlin., S. 9–40.
- Albertz, J.** (Hrsg.) 1997b Die dritte Dimension – Elemente der räumlichen Wahrnehmung. In: Albertz, J., (Hrsg.) Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten. Schriftenreihe der Freien Akademie, Band 17. Berlin., S. 81–108.
- Albertz, J.** 2001 Einführung in die Fernerkundung. Darmstadt, 2. Auflage, 250 S.
- Avery, T. E.** 1992 Fundamentals of Remote Sensing and Airphoto Interpretation. New York [u. a.] Macmillan Publ. Comp., 5. Auflage, 472 S.
- Bähr, H.-P.** 2001 The power of the links. *Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung* 1/2001, S. 23–31.
- Bähr, H.-P.** 2003 Geodäsie: eine Geowissenschaft? Forschungsarbeiten im Jahr der Geowissenschaften. *Vermessung Brandenburg*, 1/2003, S. 3–11. Im Internet: http://www.geobasis-bb.de/GeoPortal1/produkte/verm_bb/pdf/103_baehrs3-11.pdf.
- Bähr, H.-P.** 2005 Sprache, ein Datentyp der Bildanalyse. In: Bähr, H. P. & T. Vögtle (Hrsg.) Digitale Bildverarbeitung. Anwendungen in Photogrammetrie, Fernerkundung und GIS. Heidelberg: Wichmann, 4. völlig neu bearbeitete Auflage, S. 211–228.
- Baravalle, H. v.** 1957 Geometrie als Sprache der Formen. Stuttgart: Freies Geistesleben 3. Auflage 1980, 142 S.,
- Baravalle, H. v.** 1957 Darstellende Geometrie nach dynamischer Methode. Stuttgart: Freies Geistesleben, 2. Auflage 1982, 53 S. zzgl. Abb.
- Bartel, J.** 1970 Wege zur Karteninterpretation. *Kartographische Nachrichten* 20 (1970)4. S. 127–134.
- Baumgarten, A. G.** 1750 Aesthetica. In: Schweizer, H.-R. (Hrsg.) Texte zur Grundlegung der Ästhetik. Hamburg: Meiner 1983, S. 79 f.
- Berkeley, G.** 1733 Versuch über eine neue Theorie des Sehens und die Theorie des Sehens oder der visuellen Sprache verteidigt und erklärt. Übers. u. hrsg. von Wolfgang Breidert. Hamburg Meiner 1987. 193 S.
- Bernhard, A.** 1984 Projektive Geometrie aus der Raumschauung zeichnend entwickelt. Stuttgart. 221 S.
- Bertin, J.** 1982 Graphische Darstellungen und graphische Weiterverarbeitung der Information. Berlin, New York. Zit. nach [SCHUMANN & MÜLLER 2000].
- Beutelspacher, A. & U. Rosenbaum** 2004 Projektive Geometrie. Von den Grundlagen bis zu den Anwendungen. Wiesbaden: Vieweg 2. durchges. und erw. Auflage, 264 S.
- Blaschke, T.** 1999 Quantifizierung der Struktur einer Landschaft mit GIS: Potential und Probleme. In: Walz, U., (Hrsg.) 1999. Erfassung und Bewertung der Landschaftsstruktur. *IÖR-Schriften Nr. 29*, S. 9–26.
- Blaschke, T.** 2002 Satellitenbildgestütztes Landschaftsmonitoring. *Geographische Rundschau* 54(2002)5, S. 40–44.
- Blasius, W.** 1943 Das Raumsehvermögen bei Form- und Farbbeachtern. *Sinnesphysiologie* 10 (1943) S. 51–74. Zit. nach [SCHEURLE 1984, S. 89].

- Bockemühl, J.** 1992 Erwachen in der Natur – Erfahrungen mit Pflanzen. In: Bockemühl, J. (Hrsg.) Erwachen an der Landschaft. Dornach 1992, S. 155–168.
- Bockemühl, J.** 1992a Erweiterung der Naturwissenschaft durch Kräfte, die in der Kunst gehandhabt werden. In: ders. (Hrsg.) Erwachen an der Landschaft. Dornach 1992, S. 128–133.
- Bockemühl, J.** 1997 Aspekte der Selbsterfahrung im phänomenologischen Zugang zur Natur der Pflanzen, Gesteine, Tiere und der Landschaft. In: Böhme, G. & G. Schieman (Hrsg.) Phänomenologie der Natur. Frankfurt a. M. 1997. S. 149–189.
- Bockemühl, J.** 1998 Wie kann eine ganzheitliche Methode für den Umgang mit Landschaft entwickelt werden? In: Suchantke, A. (Hrsg.) Ökologie. Stuttgart 1998, S. 55–80.
- Bockemühl, J.** 2000 Heimat als individuelle und kulturelle Aufgabe. In: Pedroli, B. (Hrsg.) Landscape – Our Home. Stuttgart 2000, S. 19–28.
- Bockemühl, M.** 1982 Die Wirklichkeit des Bildes. Stuttgart: Urachhaus 1985, 255 S.
- Bockemühl, M. & W. Kugler** 1993 DenkZeichen und Sprachgebärde: Tafelzeichnungen Rudolf Steiners. Stuttgart: Urachhaus, 74 S.
- Bockemühl, M.** 1995 Sinn für Farbe. Franz Gertsch, Rainer Jochims, Ricardo Sauro. Düsseldorf: Ausstellungskatalog Galerie Karin Fesel, 38 S.
- Bockemühl, M.** 1999 Turner. Köln, London, Madrid, 96 S.
- Böhme, G.** 1982 Die Einheit von Kunst und Wissenschaft im Zeitalter der Romantik. In: 1989. Für eine ökologische Naturästhetik. Frankfurt a. M., S. 96–120.
- Böhme, G.** 1992 Natürlich Natur. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 200 S.
- Böhme, G.** 1995 Atmosphäre. Frankfurt a. M. 208 S.
- Böhme, G.** 1997a Phänomenologie der Natur – ein Projekt. In: Böhme, G. & G. Schieman (Hrsg.) Phänomenologie der Natur. Frankfurt a. M. 1997. S. 11–43.
- Böhme, G.** 1997 Die Phänomenologie von Hermann Schmitz als Phänomenologie der Natur? In: Böhme, G. & G. Schieman (Hrsg.) Phänomenologie der Natur. Frankfurt a. M. 1997. S. 133–148.
- Böhme, G.** 1998 Anmutungen. Über das Atmosphärische. Ostfildern 1998. Zit nach: Oltmann, 2004, S. 7.
- Böhme, G.** 2000 Die Rolle der Kunst bei der Entdeckung und Wiedergewinnung von Landschaft. In: Pedroli, B. (Hrsg.) 2000 Landscape – Our Home. Stuttgart. S. 35–43.
- Bollmann, J.** 2002 Raum (Stichwort). In: Bollmann, J. (Hrsg.) 2002 Lexikon der Kartographie und Geomatik. Bd. 2 Heidelberg u. Berlin: Spektrum Akademie-Verlag, S. 256 f.
- Krarup, T.** 2006 Mathematical Geodesy. In: Borre, K. 2006 Mathematical Geodesy. Berlin Heidelberg: Springer; S. 153-157
- Bossard, A.** 2000 Landschaft zwischen Objekt und Subjekt. In: Pedroli, B. (Hrsg.) 2000 Landscape – Our Home. Stuttgart. S. 45–53.
- Bossel, H.** 1994 Modellbildung und Simulation. Braunschweig, 2. Auflage, 402 S.
- Bossel, H.** 1997 Allgemeine Systemtheorie und Kybernetik: Systemtheorie Dynamischer Systeme. In: Fränzle et al. Handbuch Umweltwissenschaften. Kapitel III–1.1.
- Bruns, F.** 1922 Die Zeichenkunst im Dienst der beschreibenden Naturwissenschaften. Jena: 100 S., 44 Tafeln.
- Campbell, J. B.** 1996 Introduction to remote sensing. London [u. a.] Taylor & Francis, 3. Auflage 2002, 621 S.
- Campenhausen, C. v.** 1993 Die Sinne des Menschen. Einführung in die Psychophysik der Wahrnehmung. Stuttgart: Thieme, 2. völlig neu bearbeitete Auflage, 254 S.
- Capra, F.** (1996) Lebensnetz. Bern, München, Wien, 384 S.
- Chrisman, N.** 1997 Exploring geographic information systems. New York: John Wiley. 298 S.

- Coetze, J. M.**, 2000, Zit. nach [OLTMANN 2004, S. 7].
- Coppin, P., I. Jonckheere, K. Nackaerts, B. Muys & E. Lambin** 2004 Digital Change detection in ecosystem monitoring: a review. *Int. Journal of Remote Sensing* 25 (2004)19. S. 1565–1596.
- Couclelis, H.** 1999 Space, time, geography. In: Longley, P. A., M. F. Goodchild, D. J. Maguire & D. W. Rhind (Hrsg.) *Geographical information systems. Volume 1: Principles and Technical Issues*. New York, Weinheim, Toronto. S. 29–38.
- Delf, H., J. Georg-Lauer, C. Hackenesch & M. Lemcke** 1988 *Ästhetik* (Stichwort) Jugendllexikon. Hamburg: Rowohlt, S. 26 f.
- Descartes, R.** 1637 *Von der Methode des richtigen Vernunftgebrauchs und der wissenschaftlichen Forschung*. Hamburg: Meiner 2. verb. Aufl. 1997, 165 S.
- Donner, R.** 2001 Visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten. In E. Seyfert (Hrsg.): *Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 10*. Berlin 2001. S. 579–588.
- Donner, R.** 2004 Was ist der Raum? In: Schriftenreihe des Institutes für Markscheidewesen und Geodäsie an der TU Freiberg. Sroka, A. & R. Wittenburg (Hrsg.) Heft 2004: 5. Geokinematischer Tag. 15. und 16. Mai 2004, S. 318–327.
- Dorsch, F., H. Hächer, K. H. Stapf** (Hrsg.) 1987 *Psychologisches Wörterbuch*. Hans Huber Bern u Stuttgart. – 11. erg. Auflage. 922 S.
- Drury, S. A.** 1987 *Image interpretation in geology*. 2. Auflage 1993, nachgedruckt 1997. 283 S.
- Dürr, H.** 2002 *Raumwissenschaft* (Stichwort). In: Bollmann, J. (Hrsg.) *Lexikon der Kartographie und Geomatik*. Bd. 2 Heidelberg u. Berlin: Spektrum Akademie-Verlag, S. 116 f.
- Dustmann, F. W.** 1984 Die Bewegungsperspektive, ein Weg zum Verständnis der speziellen Relativitätstheorie. *Math.-Phys. Korrespondenz* 133 S. 10–29.
- Ebeling, W.** 1991 *Chaos – Ordnung Information. Selbstorganisation in Natur und Technik*. Frankfurt a. M. Urania, 2. Auflage, 118 S.
- Eckinger, H.** 1964 Kritik der perspektivischen Darstellung räumlicher Dinge. *Math. Phys. Korrespondenz* Nr 46, S. 3–18.
- Edmaier, B.** 1999 *GeoArt. Kunstwerk Erde*. München, Wien, 2. Auflage 1999, 154 S.
- Einstein, A.** 1916 *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie*, Braunschweig: 17. erw. Auflage 1956, 105 S.
- Einstein, A.** 1921 *Geometrie und Erfahrung*. Erw. Fassung des Festvortrages vom 27. Januar 1921 in Berlin. In: A. Einstein: *Mein Weltbild*. Zürich, Stuttgart, Wien, 1953. S. 156–166
- Einstein, A.** 1921a *Grundzüge der Relativitätstheorie*. Braunschweig Vieweg 1956, S. 3. Zit. nach Schwarz 1969 S. 33.
- Estes, J. E., E.J. Hajic & L. R. Tinney, L. R.** 1983 *Fundamentals of Image Analysis: Analysis of Visible and Thermal Infrared Data*. In: Ryerson, R. A. (Hrsg.), 1983. *Manual of Remote Sensing*. American Society of Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland Wiley 2. Auflage. 2440 S, Vol. 1, Kapitel 24.
- Euklid** 4. Jahrhundert v. Christus *Elemente*, Buch XI, Def. 1; Zit. nach [GOSZTONYI 1976, S. 1076].
- Euler, M.** 1990 *Biophysik und Erkenntnistheorie*. In: Kratky, K. & F. Wallner: *Grundprinzipien der Selbstorganisation*. Darmstadt: 1990, S. 31–58.
- Falter, R.** 2000 *Ästhetik als Einstieg in wesenhafte Wahrnehmung*. In: Pedroli, B. (Hrsg.) 2000 *Landscape – Our Home*. Stuttgart. S. 75–83.
- Fischer, H. W.** 1999 *Naturwissenschaftliches zeichnen und illustrieren*. Würzburg, 202 S.
- Flick, U.** 1995 *Qualitative Forschung. Theorie, Methoden, Anwendung in Psychologie und Sozialwissenschaften*. Hamburg, 3. Auflage 1998, 318 S.

- Foerster, H. v.** 1990 Kausalität, Unordnung, Selbstorganisation. In: Kratky, K. & F. Wallner: Grundprinzipien der Selbstorganisation. Darmstadt: 1990, S. 77–95.
- Fränze, O., F. Müller & W. Schröder** (Hrsg.) 1997 Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. Landsberg am Lech. ecomed.
- Gauß, C. F.** 1886 In: Revue des questions scientifiques, S. 575, Zit. nach [HADAMARD 1996, S. 15].
- Gauß, C. F.** 1817 Brief an W. Olbers vom 28. April 1817. In: Werke, Bd. VIII, S. 177. Zit. nach [NEUMANN, S. 31].
- Gauß, C. F.** 1829 Brief an F. W. Bessel vom 27. Januar 1829. In: Werke, Bd. VIII, S. 201. Zit. nach [NEUMANN, S. 30].
- Gebauer, G. & C. Wulf** 1992 Mimesis: Kultur – Kunst – Gesellschaft. Reinbek bei Hamburg: *Rowohlt's Enzyklopädie* 497, 462 S.
- Gebert, F.** 1977 Psychologische und physiologische Wirkung von Umgebungsfarben. Marburg; Zit. nach [SCHEURLE 1984].
- Gibson, J. J.** 1966 Zit. nach [KEBECK 1994] (keine weiteren Angaben).
- Gibson, J.** 2000 Introductory Remote Sensing. London New York. 184 S.
- Goethe, J. W. v.** 1793 Der Versuch als Mittler zwischen Objekt und Subjekt. Zit. nach [ZIEGLER 2000].
- Goethe, J. W. v.** 1810 Farbenlehre. Mit Einleitungen und Kommentaren von Rudolf Steiner. Stuttgart: 6. Aufl. Kassettenausgabe 1997, 5 Bde.
- Goldstein, E. B.** 1997 Sensation and Perception. In deutscher Übersetzung: Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung. Heidelberg: Spektrum, 650 S.
- Goleman, D.** 1995 Emotionale Intelligenz. München u. Wien 1996, 424 S.
- Gosztonyi, A.** 1976 Der Raum: Geschichte seiner Probleme in Philosophie und Wissenschaft. Freiburg (Breisgau), München; 2 Bd. 1439 S.
- Grossarth-Maticek, R.** 2000 Autonomietraining. Gesundheit und Problemlösung durch Anregung der Selbstregulation. Berlin u. New York, 315 S.
- Gschwind, P.** 2004 Projektive Mikrophysik. Dornach: *Mathematisch-Astronomische Blätter*. Neue Folge, Bd. 25, 262 S.
- Gut, B.** 1971 Die Begriffe des Raumes und der Zeit. *Elemente der Naturwissenschaft* 14 (1971)1 S. 47–56.
- Gutland, G.** 1999. Das Ich und seine Wirklichkeit. In: Heisterkamp, J. (Hrsg.) Geist und Gehirn. Frankfurt a. M. 1999 *Kontext*, Bd. 2, S. 41–84.
- Heitz, S. & Stöcker-Meier, E.** 1994 Grundlagen der physikalischen Geodäsie. Bonn: Dümmler, 436 S.
- Hemleben, J.** 1981 Das haben wir nicht gewollt – Sinn und Tragik der Naturwissenschaft. Frankfurt a. M., S. 52.
- Hadamard, J.** 1996 The Mathematician's Mind. The Psychology of Invention in the Mathematical Field. New Jersey, 143 S.
- Hagel, J.** 1998 Geographische Interpretation topographischer Karten. Stuttgart u. Leipzig: Teubner, 144 S.
- Hake, G. & D. Grünreich** 1994 Kartographie. Berlin New York, 599 S.
- Haken, H. & A. Wunderlin** 1990 Die Anwendung der Synergetik auf Musterbildung und Mustererkennung. In: Kratky, K. & F. Wallner: Grundprinzipien der Selbstorganisation. Darmstadt: 1990, S. 18–30.

- Harris, J. R., D. W. Viljoen & A. N. Rencs** 1999 Integration and Visualisation of Geoscience Data. In: Rencz, A. (Hrsg.), 1999. Remote Sensing for the Earth Sciences. Manual of Remote Sensing. Third Edition, Volume 3, S. 307–354.
- Hegel, G. W. F.** 1832 Wissenschaft der Logik. Die Lehre vom Sein. Hamburg: Meiner 1990. 509 S.
- Hegel, G. W. F.** 1835 Ästhetik –Vorlesung über die Ästhetik. Reclam-Ausgabe, Stuttgart 1971, S. 201 f. Zit. nach [OLTMANN 2004, S. 7].
- Heisenberg, W.** 1953 Das Naturbild der heutigen Physik. In: Gesammelte Werke, hrsg. Von W. Blum und H. Rechenberg, Abt. C, Bd. 1, München/Zürich 1984, S. 398–420.
- Heisenberg, W.** 1969 Der Teil und das Ganze. Gespräche im Umkreis der Atomphysik. München: Piper Taschenbuchausgabe 2. Auflage 1998, S. 85 f.
- Hemleben, J.** 1981 Das haben wir nicht gewollt: Sinn u. Tragik d. Naturwiss. Frankfurt am Main: Fischer-Taschenbuch-Verlag, 237 S.
- Heusser, P.** 2000 Über die Notwendigkeit einer Erneuerung heutiger Wissenschaften – Der Beitrag von Goethes Wissenschaftsmethode. In: ders. (Hrsg.): Goethes Beitrag zur Erneuerung der Naturwissenschaften. Bern Stuttgart Wien S. 13–40.
- Hildebrandt, G.** 1996 Fernerkundung und Luftbildmessung für Forstwirtschaft, Vegetationskartierung und Landschaftsökologie. Heidelberg 1996, 676 S.
- Hume, D.** 1739 Eine Untersuchung über den menschlichen Verstand. Hamburg: Meiner 1978 (Originaltitel: A Treatise of Human Nature: Being an Attempt to introduce the experimental Method of Reasoning into Moral Subjects).
- Husserl, E.** 1907 Die Idee der Phänomenologie. Hamburg: Meiner 1988, Text und Seiten nach Husserliana II (Husserliana Bd. 1–9, Haag 1976).
- Hüttermann, A.** 1993 Karteninterpretation in Stichworten. Berlin [u. a.] Borntraeger 3. Auflage, 184 S.
- Hüttermann, A.** 1975 Die geographische Karteninterpretation. *Kartographische Nachrichten* 25 (1975)2, S. 62–66.
- Hüttermann, A.** 2001 Karteninterpretation in Stichworten. Berlin [u. a.]: Borntraeger, 4. überarbeitete und erweiterte Auflage, 205 S.
- Jammer, M.** 1980 Das Problem des Raumes. Darmstadt. 2. Auflage 1980. 240 S.
- Jensen, J. R.** 2000 Remote sensing of the environment. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 544 S.
- Jochims, R.** 29.5.1983 Papierarbeiten. Hans Thoma Gesellschaft Reutlingen. Ausstellungskatalog 1995, S. 61.
- Jonas, H.** 1979 Das Prinzip Verantwortung: Versuch einer Ethik für die technologische Zivilisation. Frankfurt am Main: *Subkamp-Taschenbuch* ; 3492. 2003, 425 S.
- Jørgensen, S. E., B. Halling-Sorensen & S. N. Nielsen** 1995 Handbook of Environmental and Ecological Modelling. New York u. a., 688 S.
- Jørgensen, S. E.** 1999 State-of-the-art of ecological modelling with emphasis on development of structured dynamic models. *Ecological Modelling* 120 (1999) S. 75–96.
- Jørgensen, S. E. & F. Müller** 2000 Ecosystems as Complex Systems. In: Jørgensen, S. E. & F. Müller, Hrsg. 2000 Handbook of Ecosystem Theories and Management. London New York Washington. S. 5–20.
- Kandinsky, W.** 1911 Über das Geistige in der Kunst. Bern: 10. Auflage Benteli, 144 S.
- Kämpfer, M.** 2000 Wissenschaft – Pseudowissenschaft: Ein einführender Beitrag über die Abgrenzungsschwierigkeiten, *Studium Integrale Journal* 7/1-3 Zit nach: [http://www.item.unisg.ch/org/item/web.nsf/SysWebRessources/ForschungsmethodikII10_1/\\$FILE/Gaso_Wecht_Paper.pdf](http://www.item.unisg.ch/org/item/web.nsf/SysWebRessources/ForschungsmethodikII10_1/$FILE/Gaso_Wecht_Paper.pdf), 1.3. 2004.

- Kant, I.** 1786 *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*. Vorrede. Zit. nach [ZIEGLER 1987].
- Kant, I.** 1787 *Kritik der reinen Vernunft*. Ausgabe Hamburg: Meiner 1990. Seitenangabe nach Originalausgabe B.
- Kant, I.** 1790 *Kritik der Urteilskraft*. Frankfurt a. M. Suhrkamp Sonderausgabe, 2. Auflage 1995 mit Paginierung der Erstausgabe von 1790 und der Zweitausgabe (B), 468 S.
- Kauffmann, C.** 1995 Qualität (Stichwort). In: Prechtel, P. & F.-P. Burkhard 1996 *Metzler Philosophie Lexikon*. Stuttgart u. Weimar: Metzler, S. 429 f.
- Kebeck, G.** 1994 *Wahrnehmung. Theorien, Methoden und Forschungsergebnisse der Wahrnehmungspsychologie*. Weinheim & München 1994, 350 S.
- Kienle, G.** 1966 *Die optischen Wahrnehmungsstörungen und die nichteuklidische Struktur des Sehraumes*. Thieme, Stuttgart 1968. 172 S.
- Kinnebrock, W.** 1999 *Bedeutende Theorien des 20. Jahrhunderts*. München u. Wien, 209 S.
- Klee, P.** 1919 Ohne Titel. In: Edschmid, K. (Hrsg.) 1920: *Schöpferische Konfession. Tribüne der Kunst und Zeit XIII*. Erich Reiss 3. Auflage. S. 28–40.
- Klein, F.** 1923 *Gesammelte mathematische Abhandlungen*. Berlin: 3 Bde, Bd I S. 381 f. Zit. nach [GOSZTONYI 1976, S. 530].
- Koch, W. G.** 2002 *Raumverständnis und Raumkonzepte in der theoretischen Kartographie*. *Wiss. Z. TU Dresden* 51(2002) 4/5. S. 41–48.
- Köck, H.** 1997 In: [LESER 1997 b, S. 54–78].
- Koeman, C.** 1972 *Das Kommunikationsprinzip in der Kartographie*. *Kartographische Nachrichten* 22 (1972)2, S. 49–54.
- Krammer, A.** 1990 *Die Bedeutung von Instabilitäten für die Entstehung neuer Strukturen*. In: Kratky, K. & F. Wallner: *Grundprinzipien der Selbstorganisation*. Darmstadt: 1990, S. 59–76.
- Kratky, K.** 1989 *Vom linearen zum systemischen Denken*. In: [KRATKY, K. & E. M. BONET. 1989, S. 11–34].
- Kratky, K. & E. M. Bonet** (Hrsg.) 1989 *Systemtheorie und Reduktionismus*. *Wiener Studien zur Wissenschaftstheorie* 3. Wien. 348 S.
- Kratky, K.** (Hrsg.) 1991 *Systemische Perspektiven. Interdisziplinäre Beiträge zu Theorie und Praxis*. Heidelberg: Auer, 228 S.
- Kratky, K.** 1990 *Der Paradigmenwechsel von Fremd- zur Selbstorganisation*. In: Kratky, K. & F. Wallner (Hrsg.) 1990 *Grundprinzipien der Selbstorganisation*. Darmstadt: Wiss. Buchgesell., 1990, S. 3–17.
- Kraus, K.** 1988 *Fernerkundung*. Band 1 und 2. Bonn. 620 S.
- Kretschmer, E., 1966 *Mensch und Lebensgrund*. Tübingen. S. 27–40; Zit. nach Scheurle [JAHR].
- Kues, N.** 1440 *De docta ignorantia* (Die belehrte Unwissenheit). Berlin: Akademie-Verlag, 2. verb. lat.-dt. Aufl. 1970, 152 S.
- Kues, N. v.** 1450 *Der Laie über den Geist* (Idiota de mente). Hamburg: Meiner, lateinisch-deutsch, *Philosophische Bibliothek* 432, 1995, 204 S.
- Kuhn, T. S.** 1962 *Die Struktur wissenschaftlicher Revolutionen*, Frankfurt a. M. Suhrkamp, 14. Auflage, 1997, 240 S.
- Land, E.** 1959 *Experiments in Color Vision*. *Scientific American*, 1959/5, S. 84–100.
- Lersch, Ph.** 1962 *Aufbau der Person*. Zit. nach: [OLTMANN 2004, S.7].
- Leser, H.** 1997a *Landschaftsökologie. Ansatz, Modelle, Methodik, Anwendung*. Stuttgart: Ulmer, 4. Auflage, 644 S.
- Leser, H.** (Hrsg.) 1997b *Handbuch des Geographieunterrichts*. Bd. 11: *Umwelt: Geoökosysteme und Umweltschutz*. Köln, 395 S.

- Leuthold, C.** 1998 Ökogenese – die Biographie eines Landschaftsorganismus. Grundgesten organischer Entwicklung am Beispiel der ökologischen Sukzession eines Lärchen-Arven-Waldes. In: Suchantke, A. (Hrsg.) 1998 Ökologie. Stuttgart. S. 141–278.
- Lillesand, Th., R. W. Kiefer & J. W. Chipman** 2004 Remote Sensing and Image Interpretation. New York [u. a.] Wiley, 5. Auflage 2004, 763 S.
- Lippe, R.** zur 1981 Natur – Wissen und mimetisches Lernen. In: Daxner, M. u. a. 1981 Andere Ansichten der Natur. Münster, 1981, S. 242–259.
- Locher-Ernst, L.** 1937 Urphänomene der Geometrie. Dornach: 2., durchgesehene Auflage, 1980, 168 S.
- Lorenzen, S.** 1997 Das Selektionsprinzip universell gültig als Naturgesetz – von der Evolutionstheorie zur Allgemeinen Selbstorganisationstheorie. In: [FRÄNZLE ET AL. 1997 Kapitel III–2.2].
- Lorenzen, S.** 1999 Der Antagonismus von positiven und negativen Rückkopplungen in der abstrakten und natürlichen Welt – die Rolle von Fraktalen, dynamischem Chaos und Selbstorganisation in der interdisziplinären Forschung. Kapitel 1.7 In: [FRÄNZLE ET AL. 5. Erg.-Lfg. 11/1999].
- Lothian, A.** 1999 Landscape and the philosophy of aesthetics: is landscape quality inherent in the landscape or in the eye of the beholder? In: *Landscape and urban Planning* 44(1999)4, S. 178–198.
- Lu, D., P. Mausel, E. Bronzino & E. Moran** 2004 Change detection techniques. *Int. Journal of Remote Sensing* 25(2004)12. S. 2365–2407.
- Lutzker, P.** 1996 Der Sprachsinne: Sprachwahrnehmung und Sinnesvorgang. Stuttgart: *Logoi*; 12. 325 S.
- Lüthe, R.** 1996 Ästhetik (Stichwort) In: Prechtel, P. & F.-P. Burkhard 1996 Metzler Philosophie Lexikon. Stuttgart u. Weimar: Metzler, S. 44.
- MacEachren, A. M.** 1995 How maps work -- Representation, Visualization and design. New York & London: Guilford Press, 513 S.
- Maier, G.** 1977 Von der Natur der Sehdinge. In: ders. 2004 blicken sehen schauen. Kooperative Dürnau, S. 119–123
- Maier, G.** 1986 Die Optik der Bilder. Dürnau: Kooperative Dürnau, 3. Auflage 2003, 229 S.
- Malik, F.** 1990 Selbstorganisation im Management. In: Kratky, K. & F. Wallner (Hrsg.) Grundprinzipien der Selbstorganisation. Darmstadt: Wiss. Buchgesell. 1990, S. 96–104.
- Merleau-Ponty, M.** 1945 Phénoménologie de la Perception. Dt. Übersetzung: Phänomenologie der Wahrnehmung. Berlin: Walter de Gruyter 1966, Photomechanischer Nachdruck 1974. 536 S.
- Merleau-Ponty, M.** 1946 Das Primat der Wahrnehmung und seine philosophischen Konsequenzen. In: Merleau-Ponty, M. Das Primat der Wahrnehmung. Frankfurt a. M. 2003, S. 26–84.
- Markowitsch, J.** 1996 Zwischen Furchen und Windungen. *Flensburger Hefte* 53 (1996) S. 7–41.
- Minsen, M.** 1981 Facetten zu einem Programm, einige Möglichkeiten der Poesie für die Wissenschaft von der Natur wiederzugewinnen. In: Daxner, M. u. a. 1981 Andere Ansichten der Natur. Münster, 1981, S. 260–282.
- Morgenstern, D.** 2003 Raumbezogene Kommunikation – alltäglich und kartographisch. *Kartographische Nachrichten* 53(2003)3, S. 103–106.
- Moritz, H. & B. Hofmann-Wellenhof** 1993 Geometry, Relativity Geodesy. Karlsruhe, 367 S.
- Moritz, H.** 1995 Science, Mind and the Universe. An Introduction to Natural Philosophy. Heidelberg, 298 S.
- Müller, A.** 2005 Datenexploration und Wissenskommunikation in der Geovisualisierung. *Kartographische Nachrichten* 5/2005, S. 236–243.
- Müller, F.** 1997 State of the Art in Ecosystem Theory. *Ecological Modelling* 100(1997) S. 135–161.

- Müller, F., M. Breckling, V. Bredemeier et al.** 1997a Ökosystemare Selbstorganisation. Kapitel III–2.4. In: [FRÄNZLE ET AL. 1997].
- Müller, F., M. Breckling, V. Bredemeier et al.** 1997b Emergente Ökosystemeigenschaften. Kapitel III–2.5. In: [FRÄNZLE ET AL. 1997].
- Müller, F. & S. N. Nielsen** 2000 Ecosystems as Subjects of Self-Organising Processes. In: Jørgensen, S. E. & F. Müller, (Hrsg.) 2000 Handbook of Ecosystem Theories and Management. London, New York, Washington. S. 177–194.
- Muller, J.-C.** 1983 Die nichteuklidische Darstellung funktionaler Räume. Kartographische Nachrichten 1(1983)S. 10–19.
- Nasar, S.** 1998 Das Leben des genialen Mathematikers John Nash. München: Piper 1999. 574 S.
- Naveh, S. & A. S. Lieberman** 1984 Landscape ecology: Theory and application. 2. Aufl. New York 1994, 360 S.
- Neef, E.** 1981 Der Verlust der Anschaulichkeit in der Geographie und das Problem der Kulturlandschaft. Sitzungsberichte der Sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig. *Math.-Naturwiss. Klasse Bd. 115*, Heft 6. Berlin: Akademieverlag 1981. S. 1–33.
- Neumann, H. & H. S. Stiehl** 1997 Modelle der visuellen Informationsverarbeitung. In: Albertz, J., (Hrsg.). Wahrnehmung und Wirklichkeit – Wie wir unsere Umwelt sehen, erkennen und gestalten. Schriftenreihe der Freien Akademie, Band 17. Berlin., S. 213–259.
- Neumann, G.** 1999 Die phänomenologische Frage nach dem Ursprung der mathematisch-naturwissenschaftlichen Raumauffassung bei Husserl und Heidegger. Berlin: *Philosophische Schriften*; 32, 361 S.
- Nielsen, S. N. & F. Müller** (2000) Emergent Properties of Ecosystems. In: Jørgensen, S. E. & F. Müller, Hrsg. (2000) Handbook of Ecosystem Theories and Management. London New York Washington. S. 195–216.
- Oltmann, O.** 2004 Imagination und Sinnlichkeit. Versuch über „sinnhafte Sinnlichkeit“. *Das Goetheanum* 83(2004)24. S. 7
- Paine, D. P. & J. D. Kiser** 2003 Aerial photography and image interpretation. New York [u. a.] Wiley, 2. ed. 632 S.
- Philipson, W. R.** (Hrsg.) 1997 Manual of Photographic Interpretation. Bethesda, Maryland. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing 2. Auflage. 670 S.
- Pauli, W.** 1957 Phänomen und physikalische Realität. *Dialectica* 11, 36–48. Zit nach [PRIMAS 1993]
- Pietschmann, H.** 1969 Vorwort in [SCHWARZ 1969, S. 2]
- Planck, M.** 1919 Das Wesen des Lichts. *Die Naturwissenschaften* 7: S. 903–909 Zit. nach <http://didaktik.physik.hu-berlin.de/open-eyes/index.html>, 31.8. 2005.
- Popper, K. R.** 1935 Logik der Forschung. Tübingen: Mohr (Siebeck) 4. verbesserte Auflage 1971, 441 S.
- Popper, K. R.** 1945 Zwei Arten von Definitionen. In: Popper, K. R. Lesebuch; ausgewählte Texte zur Erkenntnistheorie, Philosophie der Naturwissenschaften, Metaphysik, Sozialphilosophie. Hrsg. von D. Miller. Tübingen 1995, S. 70–84.
- Popper K. R. & J. Eccles** 1977 The Self and its Brain, Hutchinson, London. Zit. nach: Petch, J. 1994: Epistemological Aspects of Visualization. In: Hearnshaw, H. & D. J. Unwin, 1994 Visualization in Geographical Information Systems. Chichester [u. a.] Wiley, S. 212–219.
- Primas, H.** 1992 Umdenken in den Naturwissenschaften. Spektrum-Verlag, Heidelberg: *GALA* 1, S. 5–15.
- Primas, H.** 1993 Eine Ganzheit, die nicht aus Teilen besteht. München: *Neue Horizonte*, 92/93. S. 80–111.

- Primas, H.** 1994 Realism and quantum mechanics. <http://philsci-archive.pitt.edu/archive/00000951/>, 16.12. 2006.
- Rase, W.-D.** 2001 Kartographische Anamorphosen und andere nichtlineare Darstellungen. *Kartographische Bausteine* 5, S. 31–38.
- Regel, G.** 1986 Medium bildende Kunst. Berlin, 352 S.
- Ribe, N. & F. Steinle** 2002 Exploratory Experimentation: Goethe, Land, and Colour Theory. *Physics Today* 55(2002)7. S. 43–54. (<http://www.aip.org/pt/vol-55/iss-7/p43.html>, Juni 2004)
- Riedrich, T.** 2002 Der mathematische Raumbegriff – eine Brücke zwischen Theorie und Praxis. Dresden: *Wiss. Z. TU Dresden* 51(2002)4/5. S. 7–12.
- Ries, H.** 1987 Wahrnehmung (2). Stichwort In: [DORSCH ET AL. 1987, S. 734] (Autorenzuordnung unsicher).
- Ritter, J.** 1974 Subjektivität : 6 Aufsätze . 1. Aufl. dieser Ausg. – Frankfurt am Main: *Bibliothek Suhrkamp* ; Bd. 379, 1974, 191 S.
- Ritter, M.** 1997 Vorwort und Einleitung zur deutschen Ausgabe. In: [GOLDSTEIN 1997. S. XVII– XXIV]
- Robinson, A. H. & J. L. Morrison, P. C. Muehrcke, A. J. Kimerling, S. C. Guptill** 1995 Elements of cartography. New York [u. a.] Wiley John & Sons, 6th ed. 1995, 674 S.
- Rozak, T.** 1994 The Cult of Information. Berkeley, 267 S.
- Sabins, F.** 1978 Remote Sensing. Principles and Interpretation. New York: Freeman, 3. Auflage 1997, 494 S.
- Sagdeev, R. Z.** (Hrsg.) 1989 Atlas zur Interpretation von kosmischen Scanneraufnahmen. Moskau u. Berlin. 124 Blatt : zahlr. Ill., graphische Darstellungen., Karton.
- Satellitenweltatlas** 1998 National Geographic Society, Washington D. C., deutsche Ausgabe: Augsburg: Steiger 1999, 222 S.
- Schatz, P.** 1998 Rhythmusforschung und Technik. Stuttgart: 2. erw. Aufl. 1998, 196 S.
- Schelling, F. W. J.** (1856–61). Werke 3, Zit. nach Schlichting 1991.
- Scheurle, H. J.** 1984 Die Gesamtsinnesorganisation. Stuttgart: Georg Thieme, 2. Aufl., 192 S.
- Schiemann, J.** 1997 Phänomenologie versus Naturwissenschaft. Zum Verhältnis zweier Erkenntnisweisen. In: Böhme, G. & G. Schiemann 1997 Phänomenologie der Natur. Frankfurt am Main: Suhrkamp, S. 213–231.
- Schiewe, J.** 2003 Ansätze zur Übertragung von Theorien der kognitiven Wahrnehmung auf die rechnerische Interpretation von Fernerkundungsszenen. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation* 3(2003)S. 181–194.
- Schiewe, J., T. Hödl & B. Grendus** 2006 FerGI: Innovative E-Learning-Materialien zur Aus- und Weiterbildung in Photogrammetrie und Fernerkundung. In: E. Seyfert (Hrsg.): Publikationen der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung. Band 15, Berlin 2006, S. 9–17.
- Schiller, F.** 1795 Über die ästhetische Erziehung des Menschen, in einer Reihe von Briefen. 15. Brief. <http://www.kuehnle-online.de/literatur/schiller/prosa/aestherzieh/15.htm>, 29.4. 2005.
- Schlichting, H. J.** 1991 *physika didactica* 18/1, 14-44 1991 oder: <http://www.uni-muenster.de/Physik/DP/lit/Nichtlinear/StrukturenChaos.pdf>, 14.2. 2003.
- Schlichting, H. J.** 1994 Prozeß und Struktur. Problem der Selbstorganisation im Bereich der unbelebten Natur. *Physik in der Schule* 32/11, S. 392–397 und 32/12, S. 430–434
- Schmidt, W.** (Hrsg.) 2000 Gotthard Graubner. Malerei und Zeichnung. Herausgegeben im Auftrag der Sächsischen Akademie der Künste, Katalog, 192 S.
- Schneider, M.** 1988 Satellitengeodäsie. Mannheim, Wien, Zürich: BI-Wiss.-Verlag, 597 S.

- Schneider, S.** 1974 Luftbild und Luftbildinterpretation. Berlin, New York. Walter de Gruyter, 530 S.
- Scholz, E.; G. Tanner & R. Jänckel** 1980 Einführung in die Kartographie und Luftbildinterpretation. Gotha: Haack, 238 S.
- Schrödinger, E.** 1962 Die Besonderheit des Weltbildes der Naturwissenschaft. Zit. nach [ALBERTZ 1997a, S. 12].
- Schuh, U.** 1999 Die Sinne trügen nicht. Goethes Kritik der Wahrnehmung als Antwort auf virtuelle Welten. Stuttgart u. Berlin: Mayer 2000, 287 S.
- Schumann, H. & W. Müller** 2000 Visualisierung: Grundlagen und allgemeine Methoden. Berlin, Heidelberg, New York, 370 S.
- Schumann, H.** 2002 Visuelle Analyse (Stichwort). In: Bollmann, J & W. G. Koch (Hrsg.) Lexikon der Kartographie und Geomatik. Heidelberg, Berlin: Spektrum Akad. Verl., S. 415
- Schwarz, G.** 1969 Raum und Zeit als naturphilosophisches Problem. Wien: WUV-Univ.-Verlag, Neuauflage 1992, 213 S.
- Schweizer, H. R.** 1973 Ästhetik als Philosophie der sinnlichen Erkenntnis. Basel u. Stuttgart, 358 S.
- Schweizer, H. R. & A. Wildermuth** 1981 Die Entdeckung der Phänomene. Dokumente einer Philosophie der sinnlichen Erkenntnis. Basel u. Stuttgart, 1981, 395 S.
- Schwenk, T.** 1962 Das sensible Chaos: Strömendes Formenschaffen in Wasser und Luft. Stuttgart: Sonderausgabe 1997, 144 S.
- Seel, M.** 2003 Ästhetik des Erscheinens. Frankfurt a. M., 1. Auflage, 328 S.
- Soentgen, J.** 1997 Fraktale Gebilde. In: Böhme, G. & G. Schieman (Hrsg.) 1997 Phänomenologie der Natur. Frankfurt a. M. Suhrkamp 1997, S. 256–272.
- Soentgen, J.** 1998 Splitter und Scherben. Zug/Schweiz *Die graue Reihe* 21, 256 S.
- Soffel, M. H.** 1998 Wandel der geodätischen Astronomie im Laufe der Zeit. *Wiss. Z. Techn. Univers. Dresden* 47(1998)3, S.84–85.
- Soffel, M., G. Plunien & G. Soff** 2002 Der Begriff des Raumes in der Physik. *Wiss. Z. TU Dresden* 51(2002) 4/5. S. 15–20.
- Söllner, R.** 1982 Untersuchungen zur interpretationsgerechten Aufbereitung von Multispektralfotografien. Veröffentlichungen des Zentralinstitutes für Physik der Erde Nr. 68. Potsdam. 85 S. zzgl. Anlagen
- Sommer, W.** 2004 Zur phänomenologischen Beschreibung der Beugung im Konzept optischer Wege. Frankfurt am Main. [http:// publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2005/1124/pdf/SommerWilfried.pdf](http://publikationen.ub.uni-frankfurt.de/volltexte/2005/1124/pdf/SommerWilfried.pdf), 12.9. 2005.
- Steiner, R.** 1886 Grundlinien einer Erkenntnistheorie der Goetheschen Weltanschauung. Dornach, 1988, 156 S.
- Steiner, R.** 1887 Goethe und die Mathematik. In ders. 1884–1897 Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften. Dornach, 4. Auflage 1987. S. 237–241.
- Steiner, R.** 1892 Wahrheit und Wissenschaft. Dornach, 5. Auflage, 1980, 105 S.
- Steiner, R.** 1897. Goethe als Denker und Forscher. In: Steiner, R. 1884–1897 Einleitungen zu Goethes Naturwissenschaftlichen Schriften. Dornach 4. Auflage 1987. S. 258–295.
- Steinle, F.** 2002 „Das Nächste ans Nächste reihen“: Goethe, Newton und das Experiment. *Philosophia Naturalis* 39 (2002)1, S. 141–172.
- Steinle, F.** 2005 Explorative Experimente. Ampère, Faraday und die Ursprünge der Elektrodynamik. Stuttgart [u. a.] F. Steiner *Boethius* 50, 450 S.
- Stephan, A.** 1999 Emergenz. Von der Unvorhersagbarkeit zur Selbstorganisation. Dresden u. München, *Theorie und Analyse, Bd. 2.*, 292 S.

- Stern, D.** 1985 The interpersonal World of the Infant. New York *Basic Books*, Zit. nach [LUTZKER 1996, S. 20 f.]
- Stöckler, M.** 1996 Raum (Stichwort) In: Prechtel, P. & F.-P. Burkhard 1996 Philosophie Lexikon. Stuttgart u. Weimar: Metzler, S. 434 f.
- Strüber, H.-J.** 1987 Gestaltgesetze, Gestaltfaktoren, Gestalttheorie, Gestaltpsychologie (Stichworte). In: [DORSCH ET AL. 1987, Seite 252 f.]
- Suchantke, A.** 1993 Partnerschaft mit der Natur. Stuttgart, 343 S.
- Suter, M.** 1997 Aspekte der interaktiven real-Time 3D-Landschaftsvisualisierung. Zürich, 141 S.
- Syrbe, R.-U.** 2006 Mündliche Mitteilung vom 26. April 2006.
- Tadeusiewicz, R. & M. R. Ogiela** 2004 Medical Image Understanding Technology. Berlin: Springer, 156 S.
- Tadeusiewicz, R. & M. R. Ogiela** 2004 The New Concept in Computer Vision: Automatic Understanding of the Images. In: Rutkowski, L. et al. (Hrsg.) 7th Int. Conf. on Artificial Intelligence and Soft Computing ICAISC. Zakopane, Poland June 7–11, 2004 proceedings Berlin u. Heidelberg: Springer, 2004, S. 133–144
- Tarnas, R.** 1991 Idee und Leidenschaft. Die Wege westlichen Denkens. München: 1997, 671 S.
- Teng, W. L. et al.** 1997 Fundamentals of Photographic Interpretation. In Philipson, W. R. (Hrsg.) 1997: Manual of Photographic Interpretation. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda, Maryland, 2. Auflage, S. 49–110.
- Theilmann, F. & G. Maier** 2003 Bewegt sich Licht? – Die Frage nach der Lichtgeschwindigkeit im Experiment. *Lehrerrundbrief 81* (2004), S. 27–43.
- Thomas von Aquin** 1272 Kommentar zu Aristoteles, De caelo I, 22. Zitiert in Meffert, E. 1982 Nikolaus von Kues. Stuttgart, S. 7]
- Wagenschein, M.** 1967 Die Erfahrung des Erdballs. Aus: ders: „Naturphänomene sehen und verstehen – Genetische Lehrgänge“. Stuttgart: Klett 1998. S. 309–342.
- Wagenschein, M.** 1968 Verstehen lehren. Weinheim und Basel: Beltz 11. Auflage, 1997. 181 S.
- Wagenschein, M.** 1973 Der Vorgang des Verstehens. *Der mathematische und naturwissenschaftliche Unterricht* 26(1973)7. S. 385–392.
- Wallner, F.** 1990 In: Kratky, K. & F. Wallner (Hrsg.) Grundprinzipien der Selbstorganisation. Darmstadt: Wiss. Buchgesellschaft, 1990
- Wardenga, U.** 2000 Räume der Geographie – zu Raumbegriffen im Geographieunterricht. http://homepage.univie.ac.at/Christian.Sitte/FD/artikel/ute_wardenga_raeume.htm, 29.6. 2005
- Ware, C.** 2004 Information Visualization. Heidelberg London New York Elsevier, 486 S.
- Weizsäcker, V. v.** 1940 Der Gestaltkreis. Theorie der Einheit von Wahrnehmen und Bewegen. Leipzig, 179 S.
- Welsch, W.** 1995 Ästhetisches Denken. Stuttgart: 4. Auflage 1995, 224 S.
- Wenderlein, W.** 1996 Genauigkeit ist nicht Wirklichkeit. *Allgemeine Vermessungsnachrichten*. 103(1996)8/9, S. 301–305.
- Wittgenstein, L.** 1921: Logisch-Philosophische Abhandlung. In W. Ostwald: Annalen der Naturphilosophie. Leipzig, 1921, S. 185–262, Zit. nach [FOERSTER 1990].
- Wieneke, F.** 1988 Satellitenbilddauswertung – Methodische Grundlagen und ausgewählte Beispiele. München: Geobuch-Verlag, 169 S.
- Witzenmann, H.** 1977 Realismus und Nominalismus. In: ders.: Intuition und Beobachtung. Stuttgart: Geistesleben, S. 13-34
- Wladika, M.** 2000 Die Grundbestimmungen der Ethik <http://netbase.t0.or.at/~leohemetsberger/Ethik/etheinku.htm>, 22.9. 2000.

- Wu, J. & D. Marceau** 2002 Modelling complex ecological systems: an introduction. *Ecological Modelling* 153(2002), S. 1–6.
- Wundt, W.** 1887 Grundzüge der physiologischen Psychologie. Tübingen 1908, Zit. nach [GOSZTONYI 1976, S. 737].
- Zajonc, R. B.** 1980 Feeling and Thinking. Preferences need no Inferences. *American Psychologist* 35(1980)2, S. 151–175.
- Ziegler, R.** 1987 Die Entdeckung der nichteuklidischen Geometrie und ihre Folgen; Bemerkungen zur Bewußtseinsgeschichte des 19. Jahrhunderts. *Elemente der Naturwissenschaft* 47(1987)2. S. 31–58.
- Ziegler, R.** 1996 Mathematik als Geisteswissenschaft *Elemente der Naturwissenschaft* 64 1996/1, S. 1–21.
- Ziegler, R.** 2000 Goethe und die Mathematik als Kulturfaktoren. In: P. Heusser (Hrsg.) Goethes Beitrag zur Erneuerung der Naturwissenschaften. Bern, Stuttgart, Wien S. 457–485.

Mein verbindlicher Dank gilt folgenden Studierenden für die unterstützende Anfertigung ihrer Qualifizierungsarbeiten:

Alexander Bojilov 1999 Vergleich verschiedener Landschaftsbeschreibungen. Studienarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 27 S. und Anlagen.

Sabine Jähnig 1999 Gibt es Anwendungsbereiche der Fernerkundung, in denen ganzheitliches Denken (notwendig) praktiziert wird? Studienarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 67 S.

Sabine Jähnig 2000 Beiträge der Fernerkundung zum Erkennen und Verstehen ganzheitlicher Zusammenhänge. Diplomarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 138 S. und zahlreiche Anlagen.

Franziska Kessler 1999 Expertensysteme zur Interpretation und Klassifizierung von Bilddaten. Stand und Perspektiven. Studienarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 30 S.

Franziska Kessler 2000 Bildbearbeitung in Medizin und Fernerkundung. Diplomarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 142 S.

Falk Sichert 1999 Die Eignung KANT'scher Kategorien für eine automatisierte Interpretation. Studienarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 18 S.

Marco Trommler 1999 Beitrag zur Interpretation von Daten der Fernerkundung. Diplomarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 55 S.

Nadine Wegner 1999 Können Morphing-Programme das Verständnis dynamischer Prozesse verbessern oder erleichtern? Studienarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 45 S. und Anlagen.

Matthias Wengemuth 1999 Metamorphosen – aus der Ferne beobachtet, im Denken und im Geoinformationssystem modelliert. Diplomarbeit der Fachrichtung Geodäsie der TU Dresden. 56 S. und Anlagen.

Hochachtungsvoll danke ich

Herrn Prof. Dr. phil. et. rer. nat. habil. Rüdiger von der Weth, (Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden, Lehrstuhl für Professur für Betriebswirtschaftslehre, Arbeitswissenschaft und Personalwirtschaft) sowie

Herrn Prof. Dr. Dr. psych. habil. Boris Mitrofanovich Velichkovsky, Institut für Psychologie III, Universitätsprofessor für Ingenieurpsychologie und Kognitive Ergonomie an der TU Dresden,

für eine kursorische Durchsicht eines Vorentwurfes des Kapitels zur Wahrnehmung (jetzt Kapitel 3).

Besonderen Dank schulde ich gern

Herrn Prof. Dr.-Ing- (em.) Jörg Albertz, Institut für Geodäsie und Geoinformationstechnik an der TU Berlin

für zwei Stellungnahmen zu Arbeitsentwürfen (1997 und 2006) sowie

Herrn Prof. Dr. rer. nat. habil. Friedrich Steinle, Universitätsprofessor für Geschichte, Wissenschafts- und Technikgeschichte sowie Geschäftsführender Leiter Interdisziplinäres Zentrum für Wissenschafts- und Technikforschung an der Bergischen Universität Wuppertal

für die Stellungnahme zu einem Arbeitsentwurf sowie für den konstruktiven Hinweis auf die aktuellen Diskussionen zur Phänomenologie innerhalb der Wissenschaftstheorie.

Sowie allen vier Herren für ihre Ermunterung.

Herrn Dr. rer. nat. Ralf-Uwe Syrbe, Sächsische Akademie der Wissenschaften, Arbeitsgruppe Naturhaushalt, danke ich für die hartnäckige Beantwortung naiver Fragen zur räumlichen Sichtweise in der Geographie.

15 Abbildungsverzeichnis

		Seite
Abbildung 1		7
Abbildung 2		14
Abbildung 3		15
Abbildung 4		15
Abbildung 5		16
Abbildung 6		16
Abbildung 7		18
Abbildung 8		18
Abbildung 9		19
Abbildung 10		20
Abbildung 11		28
Abbildung 12		29
Abbildung 13		29
Abbildung 14		30
Abbildung 15		30
Abbildung 16		33
Abbildung 17		34
Abbildung 18		36

	Seite
Abbildung 19	40
Abbildung 20	41
Abbildung 21	41
Abbildung 22	50
Abbildung 23	51
Abbildung 24	54
Abbildung 25	69
Abbildung 26	70
Abbildung 27	75
Abbildung 28	75
Abbildung 29	78
Abbildung 30	79
Abbildung 31	88
Abbildung 32	103
Abbildung 33	104
Abbildung 34	109
Abbildung 35	110
Abbildung 36	119
Abbildung 37	120
Abbildung 38	123

	Seite
Abbildung 39	125
Abbildung 40	126
Abbildung 41	128
Abbildung 42	129
Abbildung 43	133
Abbildung 44	134
Abbildung 45	135
Abbildung 46	137

16 Thesen

THESEN	Abschnitte
1 Das methodische Wissen über die visuelle Interpretation stagniert. Es gibt keine voraussetzungsfreie Darstellung der visuellen Interpretation von Fernerkundungsdaten, die folgenden Ansprüchen genügt: Es sind Erkenntnisse verschiedener mit der Bildinterpretation befasster Wissensbereiche, der Wahrnehmungspsychologie, der Erkenntnistheorie und der Kunstwissenschaft, zu einem Verständnis der visuellen Interpretation von Daten der Fernerkundung zu vereinigen. Diese Synthese ist das vorrangige Ziel dieser Arbeit.	1.4, 1.5
2 Die Sinnesempfindungen sind real und trügen nicht.	3.1
3 Bedingt durch die Organisation des Menschen kann die Welt nur sukzessiv erfahren werden. Den Beobachtungen fehlt der Zusammenhang.	3.8
4 Der Begriff ist das verbindende Element in der Wahrnehmung. Er verbindet die ohne ihn zusammenhangslosen Sinnesempfindungen zu einem verständlichen Ganzen.	3.1, 4.2.2,
5 Der gedankliche Zusammenhang wird aus der Folge sichtbar.	6.14
6 Die gedankliche Einordnung kann durch formale Zuordnung entsprechend den beobachteten Merkmalen erfolgen. Die vielfach beschriebene Interpretation von Fernerkundungsdaten ist ein Beispiel für eine solche Zuordnung: Ein Phänomen wird mithilfe eines Interpretationsschlüssels entsprechend seiner Interpretationsmerkmale einer Klasse zugeordnet. Erscheint ein Objekt auf verschiedene Weise, ist seine Zuordnung problematisch. Der Interpretationsschlüssel ist eine Zusammenstellung beobachtbarer Merkmale, eine Nominaldefinition.	1.2
7 Die Einordnung in das Verständnissystem kann alternativ durch Bildung eines gedanklichen Prinzips, aus dem die beobachteten Erscheinungen hervorgegangen sein könnten, erfolgen. Das konstruktive Prinzip (der „Funktionalbegriff“) lässt Dinge einer bestimmten Bedeutung in einer Vielfalt von Erscheinungen erkennen. Mit der Bildung des Funktionalbegriffes werden die sachlichen Bezüge bewusst, das Phänomen wird verstanden.	4.2.2
8 Mit Funktionalbegriffen können nicht nur Gegenstände der Mathematik und der Technik, sondern auch Selbstorganisationsphänomene verstanden werden.	2.1, 8.4.2
9 Wenn ein Phänomen erkundet werden soll, wie es von sich aus ist, hat man zu versuchen, die gedanklichen Voraussetzungen zu minimieren und die Breite und Vielfalt der Beobachtungen zu vergrößern.	4.2.7, 6.2, 6.3, 6.4
10 Die Bildung von Funktionalbegriffen setzt die Beobachtung eines Phänomens in der Vielfalt seiner Erscheinungen, nicht einer repräsentativen Stichprobe, voraus. Daher bedarf die Bildung von Funktionalbegriffen einer anderen Forschungsmethode als die Verifikation von Hypothesen.	4.2.7
11 Die spezifische Erlebnisqualität eines Ereignisses bleibt unberührt vom Erkenntniszusammenhang.	3.1, 8.4.2
12 Die begriffliche Bestimmung, das Was eines Phänomens, ist (innerhalb des Maßes) von den Qualitäten unabhängig.	3.1

THESEN	Abschnitte
13 Die Empfindung einer Eigenschaft kann vom gedanklichen Zusammenhang eindeutig unterschieden werden, wie das Hören vom Sehen unterschieden werden kann.	3, 6.3
14 Differenziert man die Wahrnehmungen in unterschiedliche, unabhängig voneinander modifizierbare Felder, ergibt sich die Wahrnehmung gedanklicher Inhalte als ein solcher Sinnesbereich.	3.7
15 Das begriffliche Denken wird – wie das logische Denken – bestimmt vom Inhalt und Zusammenhang der Begriffe, die allein durch das Denken geschaffen und verändert werden. Das nicht auf sinnliche Inhalte bezogene Denken ist fehlerfrei.	3.7
16 Beweise beziehen sich auf die innere Stimmigkeit eines gedanklichen Systems. Wenn A, B und C die Ecken eines ebenen Dreieckes sind, beträgt die Summe der gemessenen Innenwinkel 180° . Ob eine evtl. bestehende Abweichung der Winkelsumme darauf zurückzuführen ist, dass A, B und C auf einer gekrümmten Fläche liegen oder weil die Verbindung zwischen ihnen keine Geraden sind oder weil eine andere Voraussetzung nicht zutreffend ist, lässt sich aus Messungen allein nicht entscheiden. Die Übereinstimmung zwischen empirischen Beobachtungen und gedanklichen Zusammenhängen kann nicht bewiesen, sondern nur erfahrend eingesehen werden.	3.7, 6.14, 6.16
17 Einzelne Verfahren, die sich auf das Verständnis eines Phänomens in der Vielfalt seiner Erscheinungen richten, sind gängige Forschungspraxis. Eine explizite Zusammenstellung von Vorgehensweisen, die sich aus einer voraussetzungs-freien Betrachtung der Wahrnehmung ergeben, lag jedoch bislang nicht vor.	1.9
18 Mit dem kultivierten Verweilen im Prozess der erfahrungsdominierten Begriffsbildung hat die ästhetische Wahrnehmung Erkenntnisfunktion.	5.1, 6.16, 7.3.3
19 Mit dem Vermögen, nichtformulierbare Erfahrungskomplexe in sichtbare Formen mit erlebbarer Wirkung zu transformieren, ist bildende Kunst als eine zur logischen, eindeutigen, widerspruchsfreien Wissenschaft komplementäre Erkenntnisform anzusehen. Der Beitrag künstlerischer Tätigkeit an der Begriffsbildung ist ein doppelter: Sie qualifiziert die Wahrnehmung und sie macht zunächst unsichtbare Erfahrungsqualitäten besser sichtbar.	5.2, 6.16, 7.3.3
20 Mit den Eckpunkten einer auf die Bildung von Begriffen gerichteten Forschungsmethode ist ein Weg aufgezeigt, wie durch eine methodische Erweiterung Grundfragen der Naturwissenschaften erfahrungsbasiert beantwortet werden können.	7.7
21 Bei der theoriegeleiteten Forschung steht die Einpassung bestimmter Erfahrungen in das Modell im Vordergrund. Ein Vorzug einer phänomengesteuerten Vorgehensweise besteht im Vermeiden der Verschiebung der Aufmerksamkeit weg von dem eigentlichen Untersuchungsgegenstand (unserer Erfahrungswelt) hin zu der Einpassbarkeit der Erfahrungen in das gerade geltende Paradigmensystem. Wenn auch im Zuge der Verifikation einer Hypothese die ihr zugrunde liegenden Begriffe in Anbetracht der gewonnenen Erfahrungen modifiziert werden können, sind die Übergänge zwischen phänomengeführter und theoriegeführter Forschung fließend.	6.13
22 In der vorliegenden Arbeit erfolgt erstmals eine konsequent empirische Bestimmung des Raumes und der Zeit.	7.2

THESEN	Abschnitte
23 Die Deutung eines Teiles der Erlebnisse als gleichzeitig und nebeneinander und eines anderen Teiles der Erlebnisse als nacheinander konstituiert Raum und Zeit.	7.3.2, 7.3.6
24 Die konstruierte raumzeitliche Ordnung ist – bei genügend dichten Beobachtungen – nicht willkürlich. Primäre sinnliche oder physikalische Beobachtungsgrößen sind Bewegungen und Richtungen. Räumliche Distanzen oder Koordinaten sind abgeleitete Größen. Für die Bestimmung der Bewegungsgeschwindigkeit als Quotient aus Weg und Zeit werden Raum und Zeit vorausgesetzt, womit eine auf den zugrunde liegenden Raum bezogene Geschwindigkeit erhalten wird.	7.3.3, 7.3.4
25 Fasst man, wie hier exerziert, Raum und Zeit als etwas auf, das erst im Erkenntnisprozess entsteht und mit dessen Hilfe das Denken Bewusstseinsinhalte ordnet, ist sicht- oder tastbarer Erfahrungsraum immer dort, wo sinnliche Erlebnisse räumlich und zeitlich, d. h. als nebeneinander oder nacheinander stattfindende Ereignisse geordnet werden. Wird ein Raum aus Messungen konstituiert, wie in Geodäsie, Spezieller oder Allgemeiner Relativitätstheorie, richten sich dessen Eigenschaften nach den zugrunde liegenden Messungen und gedanklichen Beziehungen. Mit der bedarfsangepassten Bildung und Spezialisierung des Raumbegriffes wird der Raumbegriff Erkenntnismittel, statt vorgegebenes Denkmuster zu sein.	7.3.8, 7.5 10.3
26 Mit der phänomenologischen Untersuchung des Raumes ist die Grundlage einer vermutungsfreien Sichtweise kinematischer Ereignisse geschaffen.	7.7
27 Mithilfe der Fernerkundung können große Regionen in ihren räumlichen Beziehungen erfahrbar oder im Geoinformationssystem analysiert werden. Überall dort, wo räumliche Anordnung ein Ausdruck funktionaler Beziehungen ist, können Geoinformationssysteme die Erkundung, das Erkennen und das Erklären von Strukturen und Prozessen unterstützen. Die Lage im Raum dient dabei als Hinweis auf sachliche Zusammenhänge.	7.3.9
28 Primäre Interpretationsmerkmale der Fernerkundung sind Farben und Richtungen. Aber auch sie sind weitgehend vom Abbildungsprozess abhängig. Form, Größe, Textur, Schatten sind abgeleitete Interpretationsmerkmale.	8.4.1
29 Eine ästhetische Betrachtung von Visualisierungen instrumentell erhobener Geodaten ist für eine objektbezogene Begriffsbildung nur sehr begrenzt einsetzbar. Die Möglichkeiten einer explorativen Erkundung überregionaler Geophänomene ist mit Fernerkundung insgesamt kaum möglich.	8.7.1
30 Der Rückgriff auf die aus der Philosophie bekannte Differenzierung zwischen Nominal- und Funktionalbegriffen ermöglicht eine prägnante Unterscheidung zwischen dem Benennen eines Merkmalskomplexes und der Einsicht in die sachlichen Bezüge. Für das Verstehen eines Phänomens kommt es auf die Bildung inhaltlich-funktionaler Zusammenhänge an, nicht auf das Zusammenfassen bedeutungsfreier Sinnesempfindungen (Farbe, Form, Größe, Textur) unter einem Namen.	8.4.2 10.1