

## Über den Beitrag der Geoinformatik zum Verständnis des Systems Erde

RALF DONNER, Freiberg

**Zusammenfassung:** Für das Verständnis und den Erhalt der Lebensgrundlagen gewinnen deren systematische Eigenschaften an Bedeutung. Sie supervenieren über einem komplexen Beziehungsgefüge messbarer Größen, sind selbst jedoch weder unmittelbar messbar, noch im Prozess der Datenfusion oder im Geoinformationssystem modellierbar. Prozessen, die mit der Fernerkundung beobachtet werden können, steht eine Geoinformatik gegenüber, die diese Prozesse nicht durch Analyse und Synthese modellieren kann. Moderne Theorien der Wahrnehmung erklären die Bedeutung der visuellen Interpretation. Einige Schlussfolgerungen für die Entwicklung der Geoinformatik werden zur Diskussion gestellt.

**Summary:** *On the contribution of geoinformatics to an understanding of the system Earth.* Systematic properties are gaining in significance for our understanding and preservation of the foundations of life. In the ecology debate the coming out of characteristics from a network of interactions is a current conception also for the description of spatial phenomena. Thus systematic conceptions arrive also into the view point of geomatics. Systematic properties emerge over a complex relations network of measurable sizes, are even however not directly measurable. Processes observed through remote sensing stand opposite a school of geo-informatics which is unable to model these processes through analysis and synthesis. Modern perception theories justify, why data visualization is very important in the scientific process. Some conclusions are discussed.

---

### 1 Einleitung: Systemvorstellung der Natur

In der Natur emergieren aus den Wechselwirkungen zwischen den als Teilen vorgestellten Subsystemen unerwartete, neuartige Eigenschaften. Als verdeutlichendes Beispiel wird auf die Reaktion chemischer Stoffe verwiesen, deren Endprodukt Eigenschaften aufweist, die weder den beteiligten Ausgangsstoffen eigen waren, noch aus diesen abgeleitet werden können. Im Beispiel der chemischen Reaktion von Wasserstoff und Stickstoff zu Ammoniak erscheint die neue Eigenschaft Geruch als statisch. Von größerem Interesse sind dynamische Eigenschaften. Die Fähigkeit eines Systems, im komplexen Zusammenwirken äußerer Gegebenheiten und innerer Funktionen zeitliche, räumliche oder funktionale Strukturen zu generieren, aufrecht zu erhalten und zu modifizieren, wird als „Selbstorganisation“

bezeichnet. Selbstorganisation meint eine als Kausalbeziehung gedachte Wirkung des ganzen Systems gegenüber den als Teilen vorgestellten Subsystemen. Erst die Wechselwirkungen zwischen den Komponenten führen zu einer Unterordnung der Komponenten unter die von ihnen gebildete Ganzheit. Mit der Vorstellung des Auftauchens selbstorganisierender Fähigkeiten aus dem Zusammenwirken zwischen den Teilen können bis dahin unverstandene Phänomene wie die Mäander-, Strudel- oder Wirbelbildung in Gewässern, das Erhalten ökologischer Fließgleichgewichte bis hin zu typischen Lebensmerkmalen wie die Bildung energiereicher komplexer Eiweiße, Heilung, Wachstum oder Evolutionsprozesse besser erklärt werden. Da die Systemfähigkeit, Zustände hervorbringen und zu erhalten, mehr aussagt, als die konkreten Zustandsparameter wird sie zum übergeordneten ökologischen Leitbild (MÜLLER 1997a).

Selbstorganisierende Prozesse haben in der Nachhaltigkeitsdebatte eine große Bedeutung.

Das Auftauchen systemischer Eigenschaften ist für Fernerkundung und Geoinformatik überall dort relevant, wo es darum geht, die Entstehung beobachteter Zustände auf regionalem bis globalem Niveau aus dem Wechselwirkungsgefüge beobachteter Teilsysteme zu erklären. Mit dem Einzug der Systemvorstellung in die Geowissenschaften werden Eigenschaften zum Untersuchungsgegenstand, die nicht unmittelbar gemessen werden können, da sie erst aus Interaktionen der als Teile vorgestellten Subsysteme hervorgehen. Da bislang mit der Fernerkundung Zustände beobachtet und im Geoinformationssystem Zustände analysiert und modelliert wurden, stellt sich nun die Frage nach dem Übergang zu den diese Zustände bestimmenden Selbstorganisationseigenschaften des Systems.

Eine Ausrichtung der Geoinformatik weg von Zustandbeschreibungen hin zu den diese Zustände bestimmenden systemischen Eigenschaften der Geosysteme verlangt den Übergang der Geoinformatik von einfach messbaren Parametern hin zu Eigenschaften, die erst aus der Interaktion der Komponenten hervorgehen. Das Auftauchen neuer Eigenschaften aus einem Geflecht von Wechselwirkungen rechnergestützt oder im Prozess der Wahrnehmung bestimmen den Inhalt dieser Abhandlung. Mit dem Überblick auf die verschiedenen Synthesearten in der Natur, im Geoinformationssystem und im Prozess der Wahrnehmung soll die Diskussion um die Möglichkeiten von Fernerkundung und Geoinformatik, systemische Eigenschaften im geowissenschaftlichen Kontext mit der Fernerkundung zu beobachten und im Geoinformationssystem zu analysieren, angestoßen werden.

## 2 Geoinformatik

### 2.1 *Fusion von Daten der Fernerkundung*

Auf den Synergieeffekt, aus dem Zusammenwirken verschiedenartiger Daten-Teile

neue Informationen zu gewinnen, zielen die digitalen Auswerteverfahren der Fernerkundung. Die mit dem Begriff Fusion bezeichnete Synthese von Daten unterschiedlicher Zeitpunkte, Sensoren, Maßstäbe, Perspektiven, Spektralbereiche, Polarität, Detailliertheit, Abstraktion oder unterschiedlicher Thematik gewann für die Interpretation von Fernerkundungsdaten und in der Geoinformatik in den letzten Jahren erhebliche Bedeutung, da sie effektiv hilft, detailliertere und präzisere Informationen zu gewinnen (z. B. BENEDIKTSSON & LANDGREBE 1999, WALD 1999, 2000). Beispielsweise führen Kombinationen von Landsat- und Radardaten oder multispektraler und höherauflösender panchromatischer Daten zu differenzierteren und zuverlässigeren Interpretationsergebnissen.

Um den Vorteil der Fusion für die Fernerkundung zu veranschaulichen, wird gern das Beispiel der Stereoskopie angeführt, bei dem aus der unterschiedlichen Perspektive der ebenen Bilder die räumliche Tiefe erfahren oder berechnet werden kann (WALD 2000). Mit der Tiefe weist die Ganzheit Raum eine Eigenschaft auf, die in den ebenen Bildern nicht vorhanden war. Werden durch logische oder arithmetische Verknüpfung verschiedener Geodaten Informationen gewonnen, die in keinem der beteiligten Datensätze – gegebenenfalls bei genauerer Untersuchung – hätten gefunden werden können? Simuliert die Fusion von Fernerkundungsdaten, systemische Eigenschaften, die erst aus dem Zusammenwirken emergieren und nicht unmittelbar gemessen werden können?

In einer Vielzahl von Aufsätzen und Tagungsbeiträgen wird über die Fusion verschiedener Geodaten berichtet. So grundsätzlich und methodisch eine Reihe von Beiträgen auch ist, z. B. POHL (1996), POHL & GENDEREN (1998), WALD (2000), so wenig klar nehmen sie zum Entstehen neuer Eigenschaften/Informationen durch die Fusion Stellung. Woher kommt das Mehr an Information durch die Fusion?

## 2.2 Erkenntnisgewinn mit Geoinformationssystemen

Um zu klären, wo das mit der Geoinformatik erzeugte Mehr an Information gegenüber den Ausgangsdaten herkommt, betrachten wir eine einfache Abfrage: Gesucht seien die bebauten Grundstücke. Eine Verschneidung aller Grundstücke mit dem Gebäudeverzeichnis zeigt die gesuchten Grundstücke. Die gewonnene Information entstand durch die Verbindung der Daten: Daten + Verbindungen = neue Information.

Dieses Grundprinzip der Informationsgewinnung gilt prinzipiell für alle rechnergestützte Informatik. Auch Klassifizierungsverfahren der Fernerkundung sind von ihrer Art her nichts anderes: das Klassifizierungsergebnis ist eine per Definition zugewiesene Kurzbezeichnung der verwendeten Daten und ihrer Relationen im Computer. Dies ist die Antwort auf die Frage nach der Herkunft der durch Fusion von Fernerkundungsdaten gewonnenen Informationen: Auch wenn es häufig so ist, dass die Konturen klassifizierter Objekte bereits in einzelnen der verwendeten Datensätze visuell erkannt werden können, weisen die zahlreichen, erst durch die Fusion erlangten Erfolge nach, dass die gewonnene Information das Ergebnis der Verknüpfung der Daten ist. Diese Verknüpfung erfolgt durch Definition, nicht allein aus den Beziehungen, Definition statt spontaner Emergenz.

Die Fähigkeit des Hervorbringens des Zustandes durch Selbstorganisation wird auch dann nicht simuliert, wenn selbstorganisierende neuronale Netze in der Analyse eingesetzt werden, denn die Selbstorganisationsfähigkeit des neuronalen Netzes hat nichts zu tun mit der Fähigkeit eines natürlichen Systems, Zustände zu erhalten. Zusammenfassend, nicht nur Emergenz sondern auch die aktive Selbstorganisation wird in der Geoinformatik derzeit nicht modelliert. Weder die Auswerteverfahren der Fernerkundung noch die Analyseverfahren der Geoinformationssysteme beziehen sich auf die Fähigkeit, Zustände hervorzubringen und zu erhalten. Schauen wir uns darum

an, wie vom Prinzip her in der Ökosystemlehre die Fähigkeit zur Selbstorganisation simuliert wird.

## 2.3 Mathematische Beschreibung systemischer Eigenschaften

In stark vereinfachten ökologischen Subsystemen gelingt die Modellierung von Selbstorganisationsmechanismen durch die rekursive Anwendung nichtlinearer Gleichungen. Sie zeigt Eigenschaften, die den Erhaltungseigenschaften natürlicher Systeme ähnlich sind. Als Beispiel sei die einfache Gleichung zur Modellierung der Populationsdynamik

$$N_{n+1} = N_n + rN_n - \frac{r}{K} \cdot N_n^2$$

mit  $N_n$  aktuelle Populationsgröße,  
 $N_{n+1}$  Größe der Folgegeneration,  
 $r$  Wachstumsfaktor und  
 $K$  Kapazitätsgrenze

herangezogen. Durch iterative Wiederholung nähert sich ihr Funktionswert dem Grenzwert (Abb. 1). Die Funktion pegelt sich auch nach Störungen von außen, im Beispiel könnten Naturkatastrophen die Population mehrmals schlagartig verringert haben, auf einen Grenzwert ein. Das Naturphänomen des Erhaltens eines Gleichgewichtes wird mathematisch simuliert.

**Abb. 1:** Mathematische Simulation der Populationsdynamik. Die Funktion simuliert das Vermögen, die Populationsgröße auf einen Grenzwert einzustellen, auch bei Störungen von außen.

### 3 Wahrnehmung

Die Fernerkundung hat einen ihrer wesentlichen Vorzüge in der Möglichkeit, durch das simultane Übersehen großer Regionen Zusammenhänge zu erkennen. Der Informationszuwachs, das Mehr an Information, entsteht durch die Synthese verschiedener Sinneseindrücke im Wahrnehmungsprozess (SCHEURLE 1984, LUTZKER 1996, S.20, GOLDSTEIN 1997, S. 234). Aus verschiedenen Sinnesreizen wie Farbe, Form, Kontrast, Bewegung, werden im Kontext der Erfahrungen und Erwartungen des Interpretenden Zusammenhänge gebildet. Sind die Zusammenhänge definitiv zu Stande gekommen, rot und rund und süß ist Apfel, oder entstehen die Zusammenhänge spontan aus dem jeweiligen Kontext?

Anschauliches Beispiel für die Fusion verschiedener Sinnesreize zu einem Bewusstseinsgebilde ist die Bildung des Raumeindrucks aus den okulomotorischen, monokularen, bewegungsinduzierten Tiefenkriterien und der Querdisparation (GOLDSTEIN 1997, S. 215–234). Die Wahrnehmung einer Anspannung durch Akkomodation und Konvergenz, die visuelle Empfindung und die Empfindung der Bewegung sind

ganz unterschiedliche, sich gegenseitig ergänzende Empfindungen, die zum Raumeindruck beitragen. Für die räumliche Wahrnehmung weiter entfernter Objekte ist das stereoskopische Sehen nicht zwingend erforderlich, denn der Raumeindruck emergiert aus dem Wirkungsgefüge vieler Sinneserfahrungen (Abb. 2). Der Gesamteindruck weist eine in den einzelnen, komplementären (!) Sinnesreizen nicht vorhandene, neue Qualität auf, was als Emergenz angesehen werden könnte. Gemeinhin als „Sinnestäuschung“ bekannte Effekte könnten als Beispiele für die Fähigkeit, aus Teilen ein Ganzes zu bilden, dass die Teile subordiniert, herangezogen werden: Umkehrbilder, amodale Ergänzungen, geometrische Größentäuschungen usf.: „Ursache der Täuschung ist die Einordnung des der Täuschung unterliegenden Teiles in den figuralen Zusammenhang, der die Wahrnehmung des Ganzen bestimmt.“ (DORSCH 1987). Die Unterordnung der Teile unter die Gesamtgestalt erfolgt nicht nur über die verschiedenen Sinnesmodalitäten, sondern ermöglicht auch die Bildung einer ganzheitlichen Zeitgestalt über nacheinander gewonnene Erfahrungen. Ein entsprechendes, fälschlicherweise bislang als Täuschung bezeichnetes Phäno-

**Abb. 2:** Entstehung des Raumeindrucks. Der Raumeindruck emergiert aus einer Vielzahl von Sinnesanregungen.

men sind die Nachbilder. Die von den einzelnen Sinnesmodalitäten erfassten Teilspekte werden synergetisch zu einem Gesamteindruck fusioniert, während dieser Gesamteindruck die einzelnen Sinnesreize bestimmt, ganz analog dem oben beschriebenen Selbstorganisationsprinzip.

Ein weiteres gemeinsames Merkmal von Natur und Wahrnehmung ist die Prozesshaftigkeit, wie leicht an einer ausdauernden Beobachtung einer Farbfläche erfahren werden kann. Solange es gelingt, die Sinne für die Wahrnehmung offen zu halten, bleibt der Wahrnehmungsprozess im Fluss, das Erlebnis der Farbe ändert sich. Erst das definierende Urteil stoppt das Wirken der Wirklichkeit auf die Sinne, abstrahiert aus dem Prozess ein statisches Gebilde. Wahrnehmen und Erkennen der Wirklichkeit ist immer bewegliche Erfahrung und urteilendes Anhalten dieser Bewegung. Die psychischen Einzelvorgänge sind gleichzeitig gegenseitig abhängig wie sie wechselseitig aufeinander einwirken. Prozess und Ergebnis der Wahrnehmung sind eine Ganzheit, die nicht als Synthese unabhängig und nacheinander ablaufender Teilprozesse erklärt werden kann. Wie die Erscheinungen der Natur fortwährend verändert werden, wie durch chaotische Funktionen ständig variierende Formen generiert werden (LORENZEN 1999), ist auch der Wahrnehmungseindruck in fort-dauernder Bewegung.

### Zusammenfassung des Bisherigen

- Erstens. Eigenschaften und Verhaltensweisen natürlicher Systeme emergieren aus einem Netzwerk dynamischer Wechselwirkungen. Das Systemganze koordiniert die als Teile vorgestellten Subsysteme. Die Fähigkeit, Strukturen hervorzu-bringen, ist entscheidend für den Erhalt unserer Lebensgrundlagen.
- Zweitens. Die in der rechnergestützten Geoinformatik gewonnenen Informationen können als Kurzform der Daten und ihrer mathematischen Verbindungen angesehen werden. Sie beziehen sich auf Zustände und Differenzen zwischen den Zuständen. Emergenz und Selbstorganisa-

tion spielen in der Geoinformatik bislang keine Rolle.

- Drittens: Die Eigenschaft der Selbstorganisation, fortwährend variierende Strukturen hervorzu-bringen, kann mathematisch in Form rückgekoppelter diskreter dynamischer Systeme modelliert simuliert werden.
- Viertens: Im Wahrnehmungsprozess entstehen Bewusstseinsinhalte, die über die Eigenschaften einzelner Sinnesmodalitäten hinausgehen und ihrerseits die Wahrnehmung steuern.

Natur, Wahrnehmung und die Anwendung spezieller mathematischer Funktionen korrespondieren hinsichtlich des Vermögens, ständig variierende Formen hervorzu-bringen. Die rechnergestützte Auswertung von Fernerkundungsdaten und die georäumliche Analyse mit Geoinformationssystemen beziehen sich demgegenüber auf statische Zustände. Im Folgenden werden einige Thesen abgeleitet, um die Diskussion der Erfassung geobezogener systemischer Eigenschaften voranzubringen.

## 4 Diskussion

*a) Die Emergenztheorie ist eine geeignete Hypothese zur Erklärung systemischer Eigenschaften.*

Trotz gängiger Fallbeispiele ist das Konzept der Emergenz nicht unumstritten. Auf die wichtigsten Einwände soll hier eingegangen werden. MÜLLER et al. (1997a) heben als berechtigten Zweifel besonders die Nichtvorhersagbarkeit emergierender Eigenschaften hervor: „Wenn wir die Emergenz emergenter Eigenschaften nicht erklären können, was anders ist sie dann als die Summe der Mechanismen, die die Wissenschaft zum Zeitpunkt der Beschreibung noch nicht verstanden hat? Existiert das [von Technikern schon immer bezweifelte – R. D.] ‚Mehr‘ gegenüber der Summe der Teile tatsächlich, oder symbolisiert es nur eine große Wissenslücke?“ Beides möchte ich mit ja beantworten. Zum einen gibt es nicht nur diese oder jene Eigenschaft, die erst aus dem Zusammenwirken hervorgeht, sondern alle

Eigenschaften resultieren aus – besser: sind – Beziehungen: Die Empfindung der Farbe Grün ist Erfahrung der Beziehung zwischen dem Gegenstand und dem Beobachter, die mit einem Spannungsmesser gemessenen 23 V drücken die Beziehung zwischen Proband und Messgerät aus. Alles, was wir von den Dingen wissen, sind Beziehungen. Zum anderen wissen wir in der Tat von keiner einzigen Eigenschaft eines natürlichen Phänomens vollständig, wie sie zustandekommt. Weder wie aus der Mischung von Blau und Gelb die Farbe Grün entsteht, noch ist bekannt, wie sonst eine natürliche Eigenschaft aus den Wechselwirkungen hervorgeht. Als Ersatz für den unverstandenen Wechsel von Qualitäten setzen wir Definitionen und bilden Modellvorstellungen, wie unter Annahme von Kausalbeziehungen, der Zerlegbarkeit des Wechselwirkungsnetzes und vieler weiterer Voraussetzungen ähnliche Eigenschaften gebildet werden können. Im Laufe der Wissenschaftsgeschichte können nun nach und nach immer mehr natürliche Eigenschaften technisch simuliert werden, beispielsweise das Erhalten eines Fließgleichgewichtes oder die Entstehung des Musters einer Schneckenschale (MEINHARDT 1997) als emergierende Eigenschaft rückgekoppelter Wechselwirkungsgeflechte. Aber auch dann, wenn ein Teilaspekt eines natürlichen Systems erfolgreich virtuell oder technisch simuliert werden kann, erklärt die gelungene Simulation als solche nicht die ursprüngliche Realisierung des natürlichen Systems, es bleibt eine Modellvorstellung. Die emergenten Eigenschaften, die heute noch nicht simuliert werden können, sind aus Sicht des Technikers noch bestehende Wissenslücken. Einige konnten durch die Entdeckungen dissipativer Strukturen, die Entwicklung der Chaostheorie, die Theorie selbstorganisierender Strukturen, durch die Kybernetik u. a. in den letzten Jahrzehnten geschlossen werden.

Die Emergenztheorie schließt eine anders nicht überbrückbare Lücke, wenn die Wirklichkeit als ein aus Teilen zusammengesetztes Ganzes erklärt oder technisch simuliert werden soll, da die Wirklichkeit Eigenschaften zeigt, die über die Eigenschaften der

Teile hinausgehen: Selbstorganisation, Entstehung biologischer Muster, Fortentwicklung, Fließgleichgewichte, Zustände jenseits vollständiger Entropie usw.

*b) Nur quantitative Eigenschaften sind analysierbar. Systemische Eigenschaften sind nicht analysierbar.*

Durch Quantifizierung werden Merkmale, wie Gewichte, Häufigkeiten, Maße, bestimmt, deren mathematische Verknüpfung im Prozess der Auswertung von Fernerkundungsdaten oder der Geoinformatik zu neuen Erkenntnissen führt. Die quantitativen Eigenschaften eines technischen Systems können aus den Eigenschaften der Teile und den Beziehungen ihres Zusammenwirkens a priori bestimmt werden. In dieser Kategorie von zählbaren, additiven Eigenschaften entspricht das Ganze genau der Summe der Teile (MÜLLER et al. 1997a). Eine andere Gruppe bilden Eigenschaften, die erst aus dem Zusammenwirken der Teile entstehen, sie sind nicht analysierbar. Eine Melodie ist ebenso wenig in Töne zerlegbar, wie ein Lebewesen in seine Organe, eine Landschaft in Elemente oder eine Uhr in Teile. Wird ein System in seine Elemente oder Subsysteme zerlegt, so verliert es unwiederbringlich die spezifische Qualität seines Ordnungsniveaus.

Die in zahlreichen Wissensgebieten akzeptierte Auffassung von systemischen Eigenschaften stellt den reduktionistischen Standpunkt insgesamt in Frage, nach dem ein System umso besser erklärt werden kann, je mehr es zerlegt und seine einzelnen Bestandteile untersucht werden. Die hinlänglich bekannten Grenzen der Modellierung folgen demnach nicht nur aus der begrenzten Messgenauigkeit und der Unvollkommenheit der Daten, sondern auch aus dem Systemcharakter.

*c) Qualitative Forschung*

Messung und Erfahrung haben unterschiedliche Gültigkeiten und Berechtigungen. Die Messung erschließt die „Wirklichkeit“ mit dem Ziel ihrer technischen Simulierbarkeit und Nutzbarkeit. Die Wahrnehmung bildet mit ihrer Fähigkeit, die „Wirklichkeit“ in

ihrer Totalität und voraussetzungs frei zu erfahren, Grundlage und Gültigkeitskriterium der Naturwissenschaft. Erkundung der Natur und Suche nach ihrer technischen Nutzbarkeit verlangen unterschiedliche Arbeitsweisen. Die Erkundung von Eigenschaften, die aus einem Beziehungsgeflecht entstehen, das sich selbst auch beeinflusst, erfordert eine ergebnisoffene, voraussetzungs freie Beobachtung der Natur in ihren realen, d. h. insbesondere in nicht auf Laborbedingungen reduzierten Wirkungszusammenhängen, nennen wir sie „qualitative Forschung“.

#### *d) Neuausrichtung der Visualisierung von Geodaten*

Aufbereitung für visuelle Interpretation von Fernerkundungsdaten orientiert sich an den besonderen Eigenschaften des menschlichen Auges bei der Reizaufnahme aus zweidimensionalen Bildern und beschränkt sich auf die Ableitung von formalisierbaren, speziellen thematischen Aspekten zugeordneten Interpretationsmerkmalen (SÖLLNER 1982).

Wenn sich das Interpretationsziel ändert, weg von einer Zuordnung einer Kurzbezeichnung für eine bestimmte Kombination möglichst messbarer und vergleichbarer Interpretationsmerkmale, hin zur Bildung eines möglichst wirklichkeitsnahen Verständnisses bisher unverstandener Phänomene, heißt „interpretationsgerecht“ Visualisierung verschiedener, auch komplementärer oder gegenseitig ausschließender Sichten des Untersuchungsgegenstandes. Jede dieser Sichten trägt zur Vervollständigung des Gesamtbildes bei, bisherige „Sinnestäuschungen“ werden als Unterschiede zwischen Ganzem und Teil interpretiert.

## 5 Ausblick

Die technische Vorstellung der Welt ist die einer aus Teilen zusammengesetzten. Nicht zuletzt wegen der immensen Erfolge der Technik neigen wir dazu, die Natur auch als aus Teilen zusammengesetzt vorzustellen. Die systemischen Eigenschaften lehren uns, dass das Ganze Eigenschaften hat, die in den

Subsystemen und den Beziehungen zwischen ihnen nicht gefunden werden können. Akzeptieren wir, dass alle Eigenschaften der Wirklichkeit aus dem grenzenlosen Wechselwirkungsgeflecht von allem mit allem hervorgehen, die Vorstellung abteilbarer Teile allein dem menschlichen Denken geschuldet ist, die in der Wirklichkeit keine Entsprechung hat, wird eine Emergenztheorie nicht für das Verstehen der Wirklichkeit notwendig, sondern für die technische Nachbildung der Natur. Die emergierenden systemischen Eigenschaften schließen die Lücke zwischen dem Ganzen und der technischen Summe der Teile. Solange Modellierung und Simulation von Geophänomenen zu den Aufgaben der Geoinformatik gehören, brauchen wir eine Emergenztheorie, die jene Eigenschaften erklärt, die aus den Wechselwirkungen zwischen ihnen emergieren.

Das Wissen, dass jede Isolation eines Teilaspektes mit einem Verlust an Wirklichkeit einhergeht, wird emergente Eigenschaften auch bei der Synthese anderer, für das logische Denken notwendiger Untergliederungen offenbaren. Sollten emergierende Systemeigenschaften technisch nachgemacht werden können, könnte dieses Wissen vielleicht auch genutzt werden, um in einer Erweiterung der Geoinformatik aus zeitlichen und örtlichen Größen Eigenschaften der Raumzeit emergieren zu lassen.

Die sinnliche Erfahrung ist total, ganzheitlich, fließend. Logisches, rationales, technisches Denken ist diskret, auf isolierte Zustände bezogen. Jeder Schritt, der die technische Simulation systemischer Eigenschaften voranbringt, rückt die technische Sicht der Welt dichter an die erfahrene Wirklichkeit.

## 6 Literatur

- BENEDIKTSSON, J. & LANDGREBE, D.A., 1999: Introduction to Special Issue on Data Fusion. – *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 37 (1999) 3: S. 1187f.
- DORSCH, F., HÄCHER, H. & STAPF, K.H. (Hrsg.), 1987: *Psychologisches Wörterbuch*. – 11. erg. Aufl., 922 S., Bern/Stuttgart.

- FRÄNZLE, MÜLLER & SCHRÖDER, 1997: Handbuch der Umweltwissenschaften. Grundlagen und Anwendungen der Ökosystemforschung. – Landsberg am Lech (ab 1997).
- GOLDSTEIN, E. B., 1997: Wahrnehmungspsychologie: Eine Einführung. – 650 S., Spektrum, Heidelberg.
- LORENZEN, S., 1997a: Das Selektionsprinzip universell gültig als Naturgesetz – von der Evolutionstheorie zur Allgemeinen Selbstorganisationstheorie. – HBU Kap. 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. – HBU Kap. 1.7, 5. Erg. Lfg. 11/1999.
- LUTZKER, P., 1996: Der Sprachsinn: Sprachwahrnehmung und Sinnesvorgang. – 325 S., Freies Geistesleben (Logoi; 12), Stuttgart.
- MEINHARDT, H., 1997: Wie Schnecken sich in Schale werfen. Muster tropischer Meeresschnecken als dynamische Systeme. – Dt. Aufl., 252 S., Springer, Heidelberg.
- MÜLLER, F., BRECKLING, M., BREDEMEIER, V. et al. (1997a): Emergente Ökosystemeigenschaften. – HBU Kap. I.III-2.5.
- MÜLLER, F., BRECKLING, M., BREDEMEIER, V. et al. (1997b): Ökosystemare Selbstorganisation. – HBU Kap. III-2.4.
- POHL, C., 1996: Geometric Aspects of Multi-sensor Image Fusion für Topographic Map Upgrading in the Humid Tropics. – Wiss. Arb. Fachrichtung Vermessungswesen der Universität Hannover. Nr. 214.
- POHL, C. & VAN GENDEREN, J. L., 1998: Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications. – Internat. Journal Remote Sensing 19 (5): 823–854.
- SCHOURLE, H. J., 1984: Die Gesamtsinnesorganisation. – 2. Aufl., 192 S., Georg Thieme, Stuttgart.
- SÖLLNER, R., 1982: Untersuchungen zur interpretationsgerechten Aufbereitung von Multispektralfotografien. – 85 S. + Anlagen, Zentralinstitut für Physik der Erde. Potsdam.
- WALD, L., 1999: Some Terms of Reference in Data Fusion. – IEEE TGR 37 (1999) 3: 1190–1193.
- WALD, L., 2000: The present achievements of the EARSeL-SIG ‚Data Fusion‘. – In: BUCHROITHNER, M. F.: A Decade of Trans-European Remote Sensing Cooperation. – S. 263–266, Lisse/Abingdon/Exton.

Anschrift des Autors:

Dr.-Ing. RALF DONNER, Institut für Markscheidewesen und Geodäsie an der Bergakademie Freiberg, Agricolastraße 1, D-09599 Freiberg.  
Tel.: 03731-39 35 55, Fax: 03731-39 36 01  
e-mail: Ralf.Donner@tu-freiberg.de

Manuskript eingereicht: Mai 2002  
Angenommen: Juni 2002