

## 5 Syndromanalyse der globalen Entwaldungsproblematik

Die in der Literatur zur Entwaldungsproblematik beschriebenen Muster lassen sich auch in das Schema des Syndromkonzepts einordnen. Nur ein Teil der Entwaldung kann dabei direkt der globalen Stammholzexploitation zugerechnet werden. Auch weitere anthropogene Ursache-Wirkungsmuster tragen maßgeblich zu diesem Kernproblem des GW bei.

Im Folgenden Kapitel wird auf Grundlage des Syndromkonzepts eine Analyse der globalen Entwaldungsproblematik durchgeführt. Für die verschiedenen, maßgeblich an der Entwaldung beteiligten nicht-nachhaltigen Entwicklungsmuster werden Syndromanalysen mit Schwerpunkt in der geographischen Diagnose der Muster durchgeführt. Diese Analysen erstrecken sich jeweils auf die Beschreibung des Syndrommechanismus, die Umsetzung in ein syndromspezifisches Beziehungsgeflecht sowie eine geographisch explizite Dispositions- und Intensitätsbestimmung. Zusammenfassend wird aus der Integration der Dispositions- und Intensitätsbestimmungen der Hauptmuster der Entwaldung eine Abschätzung der Gesamtgefährdung der globalen Waldökosysteme vorgenommen.

### 5.1 Raubbau an natürlichen Ökosystemen - Das RAUBBAU-SYNDROM

#### 5.1.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms

Das RAUBBAU-SYNDROM beschreibt die rasche, bis zur Zerstörung bzw. Ausrottung reichende *Übernutzung nachwachsender Ressourcen* sowie die *Degradation bzw. Vernichtung von Ökosystemen* auf Grund kurzfristiger Nutzungsinteressen. Irreversible *Verluste an Biodiversität* sind die primäre Folge. Verluste für den Menschen treten teils unmittelbar, teils zeitlich versetzt und diffus auf (WBGU 2000). Von diesem Syndrom sind vor allem die globalen Waldökosysteme mit den verbleibenden Primärwäldern in tropischen und borealen Regionen betroffen. Die Überweidung von Steppen und Rangelands, die Ausrottung einzelner Tier- und Pflanzenarten oder die Überfischung der Weltmeere sind weitere Beispiele einer nicht-nachhaltigen Naturnutzung, die sich nach dem typischen Muster des RAUBBAU-SYNDROMS vollzieht (WBGU 1996, 2000; Cassel-Gintz 1997; Cassel-Gintz et al. 1999; Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000).

##### 5.1.1.1 Erscheinungsformen des RAUBBAU-SYNDROMS

Die historischen und regionalen Beispiele aus verschiedenen Umweltmedien verweisen auf die ganze Breite der Palette der anthropogenen Naturzerstörung, die eine Gemeinsamkeit aufweist: Die Mensch-Natur-Interaktion folgt im Kern immer dem typischen Muster des RAUBBAU-SYNDROMS.

Das RAUBBAU-SYNDROM tritt in der menschlichen Entwicklungsgeschichte bereits sehr früh auf. Schon in der Antike wurde beobachtet, dass in Folge einer schnellen, die Regenerationsfähigkeit übersteigenden Nutzung einer nachwachsenden Ressource vielfältige negative

Folgen für Natur und menschliche Entwicklung auftreten können. Ein frühes Beispiel ist die Entwaldung des Mittelmeerraums für den Schiffs- und Städtebau in der Antike. Bereits Platon berichtet in seinem Dialog *Kritias* (~350 v. Chr.) über die Entwaldung der attischen Hänge für Siedlungszwecke und Schiffbau, wodurch die Bodenschicht der Wassererosion schutzlos preisgegeben wurde und von einer einst blühenden und „fetten“ Landschaft nur noch das „kahle Gerippe“ übrig blieb. Ein weiteres historisches Beispiel wurde bereits in der Einleitung dieser Arbeit erwähnt, der Raubbau an den Wäldern Sachsens zum Grubenausbau sowie für die Holzkohlegewinnung zum Betreiben der Schmelzhütten. Die Umgebung der sächsischen Bergbaustädte waren im 17. Jahrhundert durch den Jahrhunderte alten Raubbau weitgehend kahl geschlagen, was von Carlowitz zur Entwicklung des Nachhaltigkeitsgedanken in der deutschen Forstwirtschaft führte. In der Mitte des 19. Jahrhunderts machten Autoren wie Carl Fraas oder Georg Perkins Marsh speziell auf den Raubbau an Waldressourcen und seine negativen Folgen im Bereich der Bodendegradation aufmerksam (Schramm 1984, Brüggemeier 1998).

Die fast vollständige Ausrottung der nordamerikanischen Büffel wegen ihrer Felle im letzten Jahrhundert ist ein Beispiel für eine andere mediale Ausprägung des RAUBBAU-SYNDROMS. Hier wurde der Bestand einer Tierart auf Grund kurzfristiger ökonomischer Interessen in kürzester Zeit bis auf ein Minimum reduziert. Ähnlich führte der bis heute anhaltende industrielle Walfang in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts zu einer kritischen Dezimierung der Bestände der meisten Walarten. Noch heute gelten - allen internationalen Schutzabkommen zum Trotz - Wale vielerorts als kurzfristig lukrativ verwertbare, ökonomische Ressource, so dass ihr Fortbestand keineswegs als gesichert gelten kann. Auch der Handel mit einzelnen Tier- und Pflanzenarten hat in einzelnen Fällen zu erheblichen Eingriffen in das jeweilige Ökosystem geführt, weshalb heute ca. 5 000 Tier- sowie 25 000 Pflanzenarten durch das *Washingtoner Artenschutzabkommen* (CITES) geschützt werden. Der zum Teil internationale Handel bedient hier oft eng mit Kultur, Lebensweise oder Tradition verbundene, spezifische Bedürfnisse. So erfolgt besonders im südostasiatischen Raum eine starke Dezimierung von Tierarten, wie Tiger oder Nashorn, zur Gewinnung traditioneller Heilmittel. In jüngerer Zeit führt auch die Verwendung von Heilpflanzen für in Europa gebräuchliche Pharmazeutika zu einer ernsthaften Bedrohung einzelner Arten (WRI 1997a). Der Wunsch nach Luxusgütern ist ein nach wie vor wirksames Motiv für den Handel mit Elfenbein, Reptilienhäuten oder Pelzen seltener Raubtiere. Gemeinsam ist allen Fällen die für das RAUBBAU-SYNDROM typische Priorität kurzfristiger Nutzung ohne Beachtung der, für das Ziel der langfristigen konsumtiven Nutzung notwendigen Regenerationszeiten, die in vielen Fällen zur irreversiblen Ausrottung von Arten führte und immer noch führt.

Das Auftreten des RAUBBAU-SYNDROMS in gleich mehreren verschiedenen medialen Ausprägungen lässt sich derzeit in Malaysia detektieren. Im Bereich der Waldökosysteme befindet es sich gegenwärtig in seiner Endphase: Nachdem besonders die Waldbestände der ökonomisch wertvollen *Dipterocarpaceae* - Familie in Sarawak und Sabah durch Holzentnahme großflächig zerstört wurden, gehen malaiische Holzfirmen in jüngerer Zeit dazu über, Einschlagskonzessionen in anderen südostasiatischen Ländern sowie in Guyana, Brasilien und Suriname zu erwerben. Dies zeigt die *räumliche Verlagerung* des in seinen langfristigen

sozialen, ökologischen und ökonomischen Folgen ruinösen, aber aus der einzelwirtschaftlichen Perspektive der international operierenden Holzindustrie kurzfristig höchst lohnenden Mechanismus. Die zeitliche Persistenz wichtiger syndromendogener Trends und dadurch geprägter Strukturen ist hier sehr gut sichtbar: Holzeinschlagsfirmen und das angegliederte verarbeitende Gewerbe haben über Jahre und Jahrzehnte, unterstützt durch großzügige und ökologisch blinde Konzessionsvergabe, ein beträchtliches technisches und ökonomisches Kapital, in Form des Maschinenparks und der Sägemühlen, sowie ein großes Reservoir an abhängigen Beschäftigten der Branche aufgebaut. Die sich daraus ergebenden ökonomischen Zwänge verursachen eine Standortverschiebung im Fall der Erschöpfung der Ressourcengrundlage vor Ort. Unter dem Konkurrenzdruck einer globalisierten Holzeinschlagsindustrie verschärft sich dieser Trend bis hin zu einer transkontinentalen Ausbreitung des Syndroms.

Eine andere mediale Ausprägung des RAUBBAU-SYNDROMS stellt die Fischereiindustrie in Malaysia dar. Traditionell war sie vor allem auf die wenig produktiven flachen Küstenzonen begrenzt. In den 70er Jahren fand eine Modernisierung und Mechanisierung der malaiischen Fischereiindustrie und Fangflotte statt. Dies erlaubte die zusätzliche *Offshore-Nutzung* der Fischgründe und führte zu drastischen Steigerungen der Fangmenge, was Malaysia zu einer der weltweit führenden Fischereinationen machte. Die Produktion erreichte in den 80er Jahren ihren Höhepunkt (ECB 1997). Vor allem im Bereich der ökologisch hoch-sensiblen Korallenriffe, z. B. vor Sabah (WRI 1998), findet eine starke Übernutzung küstennaher Fischbestände durch zerstörende Überfischung in Form von Dynamit- und Cyanidfischerei statt. Die Nutzung *mariner und limnischer Ökosysteme* nimmt global oft die Form eines Raubbaus an. Die Überfischung stellt eine ernsthafte globale Bedrohung der aquatischen Ökosysteme dar (FAO 1998; WWF 1998; Morse 1998).

Negative soziale und ökonomische Folgen für eine Region, in der das RAUBBAU-SYNDROM in der Vergangenheit existent war, werden am Beispiel der Philippinen sichtbar. In den 60er und 70er Jahren gehörte das Land auf Grund einer äußerst exzessiven, nicht-nachhaltigen Forstpolitik zu den vier größten Holzexportnationen der Welt. Innerhalb kürzester Zeit gingen dadurch 90 % der philippinischen Wälder verloren. Das Land wurde gezwungenermaßen zum Holzimporteur und etwa 18 Mio. Menschen, die vorher hauptsächlich in und von den Wäldern lebten, verarmten (Abramovitz & Mattoon 1999). Dies verdeutlicht die über die Degradation der Natur hinausgehenden, negativen Folgen des RAUBBAU-SYNDROMS und illustriert die enge, systemare Verknüpfung von Natur- und Anthroposphäre.

Diese Beispiele verdeutlichen den *Skalenwandel* der Problematik des RAUBBAU-SYNDROMS. Waren die Folgen früher eher auf kleinere Naturräume beschränkt und hatten primär regional begrenzten Charakter, so sind heute oft große Regionen oder sogar, wie im Falle der Überfischung und der Entwaldung, von globalem Charakter. Selbst wenn die, entsprechend größeren, Verluste für zukünftige Generationen nicht berücksichtigt werden und damit der Gedanke einer intergenerationellen Gerechtigkeit außer Acht gelassen wird, ist heute bereits ein wesentlich größerer Anteil der Menschheit mit den Folgen des Raubbaus an Naturressourcen konfrontiert als in den historischen Beispielen des Syndroms.

## 5.1.2 Der Mechanismus des RAUBBAU-SYNDROMS

Die Beschreibung des aktuell wirksamen Syndrommechanismus und des konstituierenden Syndromkerns stehen am Anfang der Analyse eines Syndroms, was auch eine genauere Auflösung der antreibenden sozioökonomischen Kräfte sowie der natur- und sozialräumlichen Rückwirkungen beinhaltet. In einem nächsten Schritt werden dann einige typische Syndromverläufe unterschieden sowie die Interaktion mit anderen Syndromen diskutiert.

### 5.1.2.1 Der Syndromkern

Auf Grund des frühen historischen Auftretens des Syndroms verfügen wir im Falle des RAUBBAU-SYNDROMS auch über vielfältige Beschreibungen, die eine Mustererkennung vereinfachen. Diese Beschreibung der Mechanismen des Syndroms trifft zwar nicht alle aktuell wesentlichen Symptome und Verknüpfungen, sie beschreibt aber die syndrominterne Dynamik, die, als eine Art internes „Schwungrad“, an vielen Orten und zu vielen Zeiten beobachtbar war. Die beschriebenen Grundmechanismen sind allgemeiner Art und können auf die verschiedenen medialen Ausprägungen, z. B. Holzentnahme in Waldökosystemen oder Überfischung in limnischen und marinen Ökosystemen, angewandt werden. Der Fokus der vorliegenden Arbeit liegt jedoch auf dem sektoralen Problem der globalen Waldökosysteme.

Im Kern besteht die Problematik des RAUBBAU-SYNDROMS in der zeitlichen Diskrepanz von menschlicher Nutzung und natürlichem (Nach-)Wachsen der Ressource. Die charakteristischen Prozesse auf naturräumlicher Ebene sind einerseits durch die Wirkung der *Übernutzung biologischer Ressourcen* auf die *Schädigung* bzw. *Konversion des Ökosystems* gekennzeichnet. Andererseits gibt es direkte und indirekte Schäden in weiteren Umweltbereichen: *Bodenverdichtung* oder *Veränderung der lokalen Wasserbilanz* sind Beispiele dafür. Auf Grund der Konnektivität der Biosphäre verstärken solche Schäden wiederum Konversions- und Degradationstendenzen. Eine graphische Repräsentation des syndromkonstituierenden Kerns ist in Abbildung 11 dargestellt.

Die Ressourcenentnahme erfolgt in einem Ausmaß, welches die Reproduktionsfähigkeit des Systems übersteigt, was im Extremfall mit der Ausrottung von Arten oder Ökosystemen einhergehen und teilweise die naturräumliche Grundlage für das Wiedererstehen der betroffenen Ökosysteme vernichtet. Damit ist die Funktionalität der Biosphäre insgesamt und der globalen Regel- und Stoffkreisläufe bedroht. Verstärkend für die Schädigung kommt es zur weiteren Ausbreitung des Syndroms gerade auf Grund seines jeweils konzentrierten lokalen und regionalen Auftretens und Erschöpfens. Dieser Prozess kann als Diffusionsprozess in Form des Abbrennens einer Wunderkerze angesehen werden: Wenn die ökonomisch attraktive Ressource in Region A gemäß den Zielvorstellungen der Akteure verbraucht ist, dann diffundiert bei Fortdauer der allgemeinen Rahmenbedingungen das Syndrom mit hoher Wahrscheinlichkeit in die Nachbarregion B, die bislang weniger rentabel bzw. erreichbar war, es nun aber auf Grund des Syndromablaufs in der Region A geworden ist. Beispiele für diesen Ablauf lassen sich etwa hinsichtlich der charakteristischen, landschaftsökologischen Strukturen des selektiven Einschlags von Tropenhölzern in Brasilien finden (Verissimo et al. 1995). Für hinreichend kapitalkräftige Unternehmen in einem halbwegs lukrativen Markt-

umfeld kann der Begriff „Nachbarregion“ tendenziell jeden Ort der Erde meinen, wie am Beispiel der Expansion malaiischer Holzeinschlagsfirmen nach Südamerika gezeigt wurde. Koreanische, japanische, amerikanische und kanadische Holzkonzerne operieren ebenfalls als solche „*global player*“.

Als wesentliche anthropogene Ursache ist auf kurzfristige Gewinnmaximierung ausgerichtete Nutzung der Wälder durch lokale, nationale und oft auch multinationale Akteure in der Holzwirtschaft. Diese Praxis der vernichtenden Nutzung von Naturressourcen wird oft durch den Staat toleriert oder aktiv unterstützt: Vermeintliche und tatsächliche Vorteile durch diese Art der Nutzung, z. B. die Entstehung von Einkommen, Beschäftigung, Steueraufkommen und Devisen einerseits sowie offensichtliches *Politikversagen*, z. B. Korruption, fehlende Mittel für Verwaltung und Exekutive oder unzureichende Infrastrukturausstattung andererseits, veranlassen nationale Regierungen typischerweise sogar zu einer begünstigenden Politik durch Gewährung von Subventionen oder Steuervorteilen. Die Korruption und Beeinflussung der lokalen und nationalen politische Entscheidungsträger ist mitverantwortlich für die mangelhafte Einhaltung bestehender Schutzvorschriften. Angeregt wird die Übernutzung biologischer Ressourcen im Wesentlichen durch zwei Faktoren:

1. Der *zunehmende Verbrauch von Energie (Brennholz) und Rohstoffen (Holzprodukte)*.
2. Die *Veränderung der Nachfragestruktur (Produktpalette)*.

Während der erste Aspekt eher quantitativer Natur ist, zielt der zweite auf qualitative Änderungen in der Zusammensetzung des Ressourcenverbrauchs.

Die *Übernutzung* wird durch das *Politikversagen* nicht nur gefördert, sie verstärkt auch umgekehrt wieder dieses antreibende Symptom diesem Zusammenhang sind Korruption und die Bedeutung der Holz-Lobby wichtig. In beiden Fällen haben soziale Akteure, die von der aktiven Übernutzung in der Vergangenheit profitiert haben, ein bedeutsames Maß an ökonomischem, sozialem und politischem Kapital angesammelt, um auf Regierungen entsprechenden Druck bei Konzessionsvergabe, Gesetzgebungs- oder -auslegungspraxis auszuüben, was wiederum einen zukünftigen Raubbau begünstigt. Im Rahmen des Syndromkerns (Abbildung 11) erfährt das Verhalten des politischen Systems, sich syndromverschärfend zu verhalten, erst dann eine Abschwächung, wenn die Schädigung von Funktion und Bestand der Ressource den Stand erreicht, an dem sich keine weiteren Einkünfte mehr erzielen lassen oder es in Folge der *Schädigung von Ökosystemstruktur und -funktion* auch vermehrt zu einem *Wachsenden Umweltbewusstsein* in der lokalen und internationalen Bevölkerung kommt. Zusammen mit einer verstärkten *Bedeutungszunahme von Nichtregierungsorganisationen (NRO)* kann dies einen positiven ressourcenerhaltenden Einfluss auf die politischen Entscheidungsträger haben und somit zu einer Abschwächung des *Politikversagens* führen. In dieser Schere von ökonomisch getriebener Verstärkung von *Politikversagen* und der ökologisch motivierten Abschwächung des Symptoms liegt die Möglichkeiten den Syndrommechanismus positiv zu beeinflussen und in nachhaltigere Verlaufsformen zu lenken.

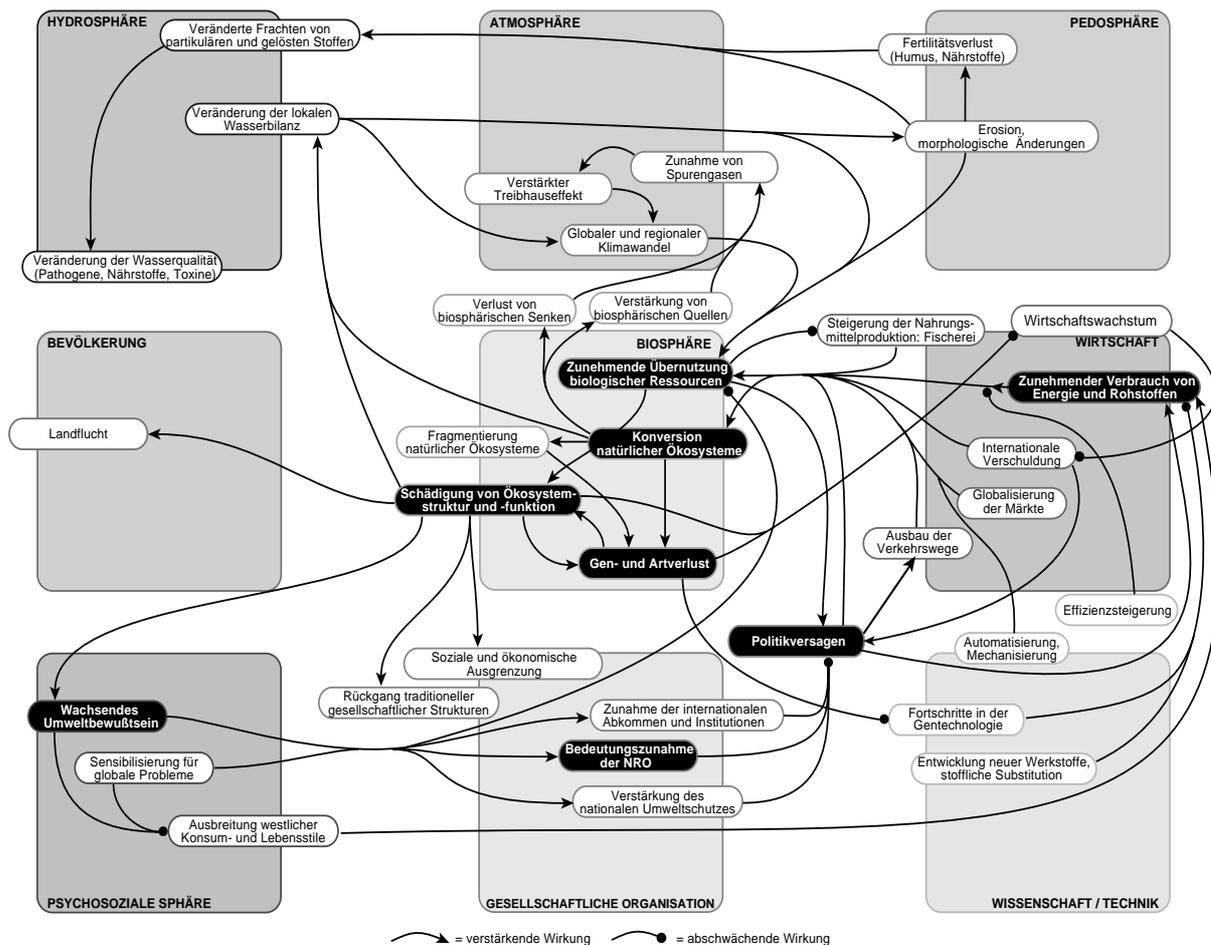


Abbildung 11: Syndromspezifisches Beziehungsgeflecht des RAUBBAU-SYNDROMS (Cassel-Gintz 1997; Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000); der Syndromkern ist schwarz unterlegt.

### 5.1.2.2 Der aktuelle Mechanismus des Syndroms

Der Syndromkern stellt eine historisch relativ robuste Beschreibung der nicht-nachhaltigen Interaktion von Mensch und Naturressource Wald dar und beinhaltet auch die grundlegende Dynamik ihrer Wechselwirkungen. Gleichwohl wird man damit der aktuellen Gestalt und der biosphärischen Bedeutung des globalen Raubbaus an den Waldressourcen nur zum Teil gerecht. Um dies zu verbessern, müssen die am Syndrom beteiligten Symptome und ihre Wechselwirkungen analytisch genauer aufgeschlüsselt werden. Dies geschieht mit Hilfe des syndromspezifischen Beziehungsgeflechts des RAUBBAU-SYNDROMS (Abbildung 11) welches die Mechanismen des Syndromkerns erweitert.

Die Existenz eines lukrativen Marktes, der durch eine zunehmend globaler werdende Nachfrage angetrieben wird (*Globalisierung der Märkte*), stellt den Ausgangspunkt des Mechanismus dar. Hier ist das der Markt für Holz und Holzprodukte: Papier, Pappe, Möbel, Bauholz, Furnierholz, Spanplatten, Fenster, etc. aber, gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern, auch Brennholz und Holzkohle. Die Entwicklung der letzten Jahren zeigt eine Zunahme der Binnennachfrage aus Schwellen- und Entwicklungsländern, welche neben der hohen Kaufkraft und Nachfrage der Industrieländer in Nordamerika, Europa und Asien, eine immer bedeutendere Rolle spielt (z. B. Brasilien, Malaysia) (*Ausbreitung westlicher Konsum-*

und Lebensstile). Hierbei sind, neben der Anzahl der Konsumenten und ihrem Wohlstands- und Anspruchsniveau, die Technologie der Ressourcengewinnung und -verarbeitung sowie die Konsumtionsweise von entscheidender Bedeutung für die nachgefragte Menge. Auf der einen Seite verschärfen *Automatisierung und Mechanisierung* das Syndrom, Beispiele dafür sind die breite Verfügbarkeit der Kettensäge oder von schwerem, automatisiertem Holzverarbeitungsgerät. Allerdings wirkt sich der technische Fortschritt auch ressourcenschonend aus. Geringere Ausschussraten und höhere Recyclingquoten führen teilweise zu großen Holzeinsparungen und wirken sich dämpfend auf bevölkerungs- und wohlstandsbedingte Nachfragezuwächse aus. Auch die Substitution von Holzprodukten durch andere Materialien kann die Entnahmerate dieser nachwachsenden Ressource deutlich senken. Dieser Effekt wird im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht durch die Einführung des Symptoms *Entwicklung neuer Werkstoffe; stoffliche Substitution* berücksichtigt. Die dominanten Nachfragesektoren der Holzwirtschaft sind der Bausektor, die Industrie, einzelne Konsumgüterbereiche (z. B. Verpackung, Möbel, Papier) sowie verschiedene Infrastrukturbereiche (z. B. Eisenbahnen, Telegraphenmasten), die eng mit der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung sowie der Technologie- und Konsumstruktur eines Landes gekoppelt sind. Daneben spielt der Bedarf an Brennholz, als Energiequelle in den meisten Entwicklungs- und Schwellenländern, eine gewichtige Rolle (*zunehmender Verbrauch von Energie und Rohstoffen*). Bei ansonsten gleichbleibenden Bedingungen bestimmt allein das Bevölkerungswachstum eines Landes seinen Holzbedarf, welcher aber mit steigendem Wohlstandsniveau zusätzliche Wachstumsimpulse erfahren kann. In einigen Industrieländern ist die Nachfrage nach Tropenhölzern seit kurzem rückläufig bzw. stagniert (FAO 1999). Dies kann teilweise als Folge von veränderten Rahmenbedingungen im Welthandel (*Zunahme internationaler Abkommen und Institutionen*), zum Teil als Folge veränderter Konsumgewohnheiten (*Zunahme des Umweltbewusstseins*) bzw. einer wachsenden *Sensibilisierung für globale Probleme* in der Bevölkerung angesehen werden. Die aktuelle Debatte um die Einführung von Produktkennzeichnungen (Zertifizierung) ist ein Ausdruck davon.

Damit die Nachfragestruktur sich im Sinne des RAUBBAU-SYNDROMS auswirkt, muss es einen, durch Umsatz und Beschäftigung ökonomisch bedeutsamen holzwirtschaftlichen Sektor<sup>28</sup> geben, der auch politisches Gewicht hat. Die Heterogenität der ökonomischen Lage und der technische Ausstattung der Unternehmen der Branche ist dabei weltweit, aber auch innerhalb eines Landes, enorm. Der syndromverstärkende Einfluss einer Firma, etwa im Holzeinschlags- oder im Sägewerksbereich, ist umso höher, je „flächendeckender“ (z. B. internationaler) sie operieren kann und je ineffizienter sie ist. In Indonesien etwa wurden Mitte der 90er Jahre nur 43 % des eingeschlagenen Holzes zu Produkten verarbeitet, der Rest von 57 % war Abfall. In anderen Entwicklungs- und Schwellenländern ist diese Beziehung teilweise etwas günstiger: hier fallen durchschnittlich „nur“ 45 % Abfall an (Jepma 1995, Dudley et al. 1996). Dies zeigt das noch nicht ausgeschöpfte, große Potential für eine ressourcenschonende „Effizienzrevolution“. Kleine, nur lokal agierende Firmen, wie sie etwa

---

<sup>28</sup> Dieser Sektor umfasst holzeinschlagende Firmen, Sägewerke und Papierfabriken, die Herstellung von Möbeln und sonstigen Gebrauchsgegenständen bzw. Investitionsgütern aus Holz.

im brasilianischen Amazonasgebiet (Scholz I. 1999), aber auch im tropischen Afrika häufig zu finden sind, können aber schon allein auf Grund ihrer Anzahl einen global bedeutsamen Schaden anrichten.

Das ökonomische Gewicht des holzverarbeitenden Sektors hat auch einen großen indirekten Einfluss auf die Politik. Die dauerhafte Raubbau-Ökonomie geht meist mit der Bildung von mächtigen Interessensverbänden oder Lobbies (Individuen, Gruppen, Clans, Verbänden, Gewerkschaften etc.) einher, die zumindest auf regionaler Ebene das politische System unter starken Druck setzen können. Dieser wirtschaftliche Faktor hat gerade in Demokratien eine besondere Bedeutung, in denen gesellschaftliche Teilinteressen über Medienöffentlichkeit, Verbandsmacht und dem Zwang zur Wiederwahl von Entscheidungsträgern vorhandene Schutzziele aushebeln oder doch in erheblichem Ausmaß abschwächen können. Ein Beispiel hierfür ist die bedeutende, politikbestimmende Rolle der „Lumber“-Industrie in *British Columbia*, Kanada. Im Falle einer großen Nachfrage und einer hohen wirtschaftlichen Bedeutung des forst- und holzwirtschaftlichen Sektors, muss es allerdings nicht automatisch zur Entwaldung im Sinne des RAUBBAU-SYNDROMS kommen. Rund 80 % der tropischen Wälder (Jepma 1995) sind staatliches Eigentum. Eine Reihe positiver Beispiele zeigt, dass ein wirksamer politischer Schutz den wirtschaftlichen Druck auf Wälder deutlich verringern und die Suche nach Alternativen (andere Werkstoffe, nachhaltig eingeschlagenes Holz) anregen kann. Das Syndrom wird in der Regel erst dann aktiv, wenn die Marktkräfte und der wirtschaftliche Nutzungsdruck durch ein *Politikversagen* auf die Ressource „durchschlagen“ bzw. deren negativen Effekt noch verstärken. Unter „*Politik*“ wird hier das Handeln oder Nichthandeln von Legislative, Exekutive und Jurisdiktion auf den verschiedenen Verwaltungsebenen verstanden. „*Versagen*“ steht für die aktuelle Unfähigkeit und / oder Unwilligkeit des politischen Systems, bzw. der tragenden politischen Akteure, mit Blick auf die Ziele der nachhaltigen Waldwirtschaft bzw. des Naturschutzes zu agieren. Dies schließt sowohl ein Unvermögen, z. B. auf Grund mangelnder finanzieller Mittel, als auch Unwilligkeit, z. B. auf Grund anderer politischer Prioritäten oder Staatskonzepte, ein. Das *Politikversagen* lässt sich grob in zwei Bereiche differenzieren:

1. Ein *direktes* Versagen der Politik ist überall dort zu konstatieren, wo im unmittelbar auf die Ressourcennutzung bezogenen Bereich, ein bedeutsames Waldökosystem, auf Grund politischer Nicht- oder Fehlentscheidungen der Raubbauwirtschaft preisgegeben wird. Dies kann durch Vergabe von Konzessionen für den Holzeinschlag zu ökologisch und fiskalisch ungünstigen Konditionen, z. B. zu kurze Laufzeiten, zu geringe Gebühren, keine Ausschreibungen, zu große Territorien, keine oder zu geringe Schutzauflagen passieren werden, oder durch einen nicht hinreichend Schutz seitens der staatlichen Forstpolitik, d. h. nicht hinreichend viele Schutzgebiete und -gesetze oder zu geringe Umsetzung derselben, sowie eine schlechte finanzielle, personelle und politische Ausstattung der Forstbehörden hervorgerufen werden. Eine besondere Aufmerksamkeit verdient die illegale Ressourcenentnahme, die durch das Versagen politischer Institutionen mit bedingt wird. Sie spielt für den Forstbereich in Ländern wie der Demokratischen Republik Kongo (vormals Zaire), Brasilien, Laos oder Russland eine besondere Rolle. Dieses direkte Politikversagen bezieht sich auf das Forstmanagement im weiteren Sinne.

2. Daneben gibt es ein *indirektes* Politikversagen dann, wenn die rechtlichen und fiskalischen Rahmenbedingungen seitens der Politik so gestaltet werden, dass nicht-nachhaltige Holz- und Forstwirtschaft, bis hin zur offenen Ausplünderung der Ressource, begünstigt werden. Das kann etwa durch eine offensive, auf die rasche Erschließung von abgelegenen Waldgebieten abzielende Infrastrukturpolitik geschehen (*Ausbau der Verkehrswege*), oder aber durch die Unterstützung eines ökologisch oder ökonomisch ineffizienten holzverarbeitenden Sektors durch Subventionen, Steuervergünstigungen oder Importschutzmaßnahmen.

Eine in der Literatur viel diskutierte Antriebskraft für das RAUBBAU-SYNDROM ist die *internationale Verschuldung* vieler Entwicklungs- und Schwellenländer (Kahn & McDonald 1995; Miller 1991; Cassel-Gintz 1997). Allerdings ist ihr Einfluss nicht so gewichtig anzusetzen, dass er direkt zu einer Ressourcenübernutzung führt. Es scheint vielmehr so, dass die internationale Verschuldung eher indirekt, über ein Versagen der für die Ressource Holz entscheidenden politischen Institutionen wirksam wird. Zwei Gründe sprechen dafür:

1. Eine Verschuldung der öffentlichen Haushalte kann stets nur über den Umweg haushalts-, fiskal- und wirtschaftspolitischer Maßnahmen die privatwirtschaftlichen Akteure erreichen. Diese können, müssen aber nicht zur Entscheidung führen, mit dem Einschlag und dem Export der heimischen Ressource Holz den Schuldendienst zu bedienen.
2. Der verschuldungsbedingt sinkende Handlungsspielraum eines Staates, den man für einen verstärkten Druck auf die natürlichen Ressourcen eines Landes geltend machen könnte, führt auch dazu, dass die dem Raubbau förderliche Infrastruktur, eine kosten-senkende Vorleistung der öffentlichen Hand für private Ressourcennutzer, nicht (mehr) finanzierbar ist. Auch für diesen gegenläufigen Zusammenhang gibt es Beispiele wie etwa Ecuador zwischen 1974 und 1982 (vgl. Wunder 1997).

Auch Korruption kann das *Politikversagen* begünstigen. An der Übernutzung interessierte Individuen oder Gruppen versuchen, ein dafür förderliches Verhalten der politischen Entscheidungsträger durch mehr oder weniger direkte „Gaben“ von Geld- oder Sachmitteln bzw. von Gegenleistungen anderer Art zu stimulieren<sup>29</sup>. Dabei können bereits erzielte Gewinne aus dem Raubbau an natürlichen Ressourcen im Sinne einer „Zukunftssicherung“ weiter genutzt werden. Dieser Mechanismus ist im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht durch einen verstärkenden Pfeil von der *Übernutzung biologischer Ressourcen* zum *Politikversagen* repräsentiert.

Die wesentlichen naturräumlichen Folgen des Syndroms finden sich in der Biosphäre. Insbesondere die Prozesse der natürlichen Sukzession, sowie ihre Beeinflussung durch die Nutzung der biologischen Ressourcen (Walter & Brekle 1992) sind hier bedeutsam. Die entscheidende Folgewirkung des Nutzungsdrucks ist die zunehmende *Übernutzung biologischer Ressourcen*, die zu einer *Konversion natürlicher Ökosysteme* und einer *Fragmentierung natürlicher Ökosysteme* führen kann. Findet der Raubbau in Form eines Kahlschlags statt, wandelt sich das Ökosystem radikal: Aus Primärwald wird dann Weidefläche,

---

<sup>29</sup> Dieser Vorgang wurde in der letzten Zeit auch als „politische Landschaftspflege“ charakterisiert.

landwirtschaftliche Nutzfläche, Ödland oder auch Siedlungsfläche. Wird dagegen nur selektiv eingeschlagen, d. h. bestimmte Arten oder Altersstufen werden entnommen, kommt es zu einer Fragmentierung des Ausgangsökosystems. Viele Sekundärwälder weltweit sind das Produkt solcher Fragmentierungsprozesse. Bei weiterer Übernutzung können auch sie vollständig konvertiert werden. Bei beiden Formen tritt ein *Rückgang der Gen- und Artenvielfalt* (z. B. Vernichtung endemischer Arten oder Reduktion des Genpools) sowie eine *Schädigung von Ökosystemstruktur und -funktion* als Folge der Ressourcenentnahme ein. Ein Beispiel hierfür ist etwa die bedenkliche Abnahme des Bestands an südamerikanischem Mahagoni durch den äußerst selektiven Einschlag, insbesondere für den deutschen Markt. Daneben umfasst die Wechselwirkung zwischen Raubbau und *Arten- bzw. Genverlusten* auch weitergehende Aspekte, wie Verschiebungen in der Artenzusammensetzung, da z. B. Jungwald verstärkt durch Herbivoren geschädigt werden kann (vgl. Schulze & Mooney 1993). Nicht nur die reine Artenanzahl, sondern auch die Qualität und Zusammensetzung sind für die funktionalen Bezüge auf Ökosystems- und Landschaftsebene bedeutsam (Dudley et al. 1996).

Eine wesentliche ökonomische Folge des Syndroms ist seine dämpfende Wirkung auf das *Wirtschaftswachstum*. Aus anthropozentrischer Perspektive ist dies eines der problematischsten Phänomene. Grundsätzlich spiegelt sich in dieser Wechselbeziehung die Gefährdung der eigenen Lebensgrundlagen wieder, einer der wesentlichen Gründe für die Entstehung der Umweltpolitik und der Nachhaltigkeitsdebatte. Die Natur ist als Lebenserhaltungssystem Grundvoraussetzung jeden Wirtschaftens überhaupt (Nutzinger & Radke 1995). Naturzerstörung und -degradation geht mit einer Behinderung der wachstumsrelevanten Lebensraumfunktion einher und beeinträchtigt die mittelbar relevanten Reinigungs-, Produktions- und Absorptionsfunktionen (de Groot 1992). Die kurzfristige Gewinnerorientierung, die typischerweise einer nachhaltigen, auf längere Sicht ausgerichteten, produktiven Bewirtschaftung der Wälder einer Region widerspricht, stellt einen problematischen Effekt dar. Aus mittel- bis langfristiger Perspektive kommt es zu negativen Beschäftigungseffekten für die örtliche Bevölkerung. Die Möglichkeiten für Produktion und Einkommenserzielung sind vernichtet und wachstums- bzw. entwicklungspolitische Nachteile in der Region sind die Folge. Durch die Vernichtung natürlicher Ökosysteme und Arten entsteht ein irreversibler Schaden in Form verlorener genetischer Quellen. Abgesehen von den generellen Schwierigkeiten einer monetären Erfassung des Schadensausmaßes<sup>30</sup> ist die Abschätzung hier besonders schwierig, da bereits vernichtete Ökosysteme zu großen Teilen nicht erforscht waren und ihr ökonomischer Nutzen daher unbekannt ist. Vor allem auch die potentiellen zukünftigen Nutzungsmöglichkeiten gegenwärtig ökonomisch „unbedeutender“ Tier- oder Pflanzenarten, stellen ein großes Potential, z. B. für die Pharmaindustrie, Nahrungsmittel etc., dar (Hampicke 1992; Stähler 1994; Hanley & Spash 1995). Dieser Prozess ist im syndromspezifischen Beziehungsgeflecht als eine abschwächende Beziehung von *Gen- und Artenverlusten* zum *Fortschritt in der Bio- und Gentechnologie* dargestellt.

---

<sup>30</sup> Siehe hierzu auch die Debatte auf den Artikel von Costanza et al. (1997) in Nature und die Folgedebatte zur ökonomischen Bewertung von Ökosystemen und ihren Funktionen für die Menschheit.

Wälder stellen nicht nur den Lebensraum für die verschiedensten Tier- und Pflanzenarten, sondern auch für viele Menschen dar. Eine große Zahl von indigenen Völkern lebt nicht nur im, sondern vor allem auch vom Wald. Mit dem Druck auf die Ressource Holz ist auch der Lebens- und Kulturraum dieser Völker bedroht. Häufig werden ihre traditionellen Nutzungsrechte durch Umwandlung der Waldgebiete in Staatseigentum annulliert, und die eingerichteten Reservate nicht hinreichend geschützt, so dass die verbliebenen Rechte der indigenen Völker durch ökonomische Interessen von Großkonzernen oder Regierungen verletzt werden können. Übernutzung und Ökosystemschädigung zerstören den Lebensraum indigener Völker und lösen Migrationsbewegungen in städtische oder ländliche Siedlungen (*Landflucht*) aus, wo es zu einer *sozialen und ökonomischen Ausgrenzung* kommt. Insgesamt geht der Raubbau nicht nur mit einem Rückgang an Biodiversität einher, sondern auch mit einem Kulturverlust, einer Reduktion der kulturellen Optionsvielfalt (*Rückgang traditioneller gesellschaftlicher Strukturen*). Die Auswirkungen dieses oft unterbewerteten Verlusts erscheinen zwar aktuell als wenig dramatisch, haben aber im historischen Rückblick eine erhebliche Dynamik erreicht und können kulturelle Folgen, wie den Verlust von indigenen Sprachen und Lebensweisen, hervorrufen.

In der aktuellen Debatte zum globalen Klimawandel ist der konversionsbedingte *Verlust von biosphärischen Senken*, in diesem Fall der Verlust der C-Speicherfunktion der Wälder bedeutsam, der zum *Treibhauseffekt* und zum *Klimawandel* beiträgt (IPCC 1996; oder auch Kap. 4). Weitere Auswirkungen des Syndroms im Bereich der Pedosphäre<sup>31</sup> sind *Bodenerosion* und *Bodenverdichtung* als die sichtbarsten Folgen der Ökosystemschädigung. Neben der Erosion nach erfolgtem Kahlschlag sind besonders Schäden durch „*Logging Roads*“ (Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997) oder die Bodenverdichtung, hervorgerufen durch den Einsatz schwerer Maschinen von Bedeutung. Ein *Fertilitätsverlust* tritt insbesondere in Regionen auf, deren Nährstoffkreislauf stark vom biologischen Geschehen oberhalb des Bodens geprägt ist, was für die meisten tropischen Waldregionen zutrifft. Weitere Folgen von Bodenerosion sind reduzierte Wachstumsmöglichkeiten, sowie *veränderte Stofffrachten* in der Hydrosphäre und damit auch eine *Veränderung der Wasserqualität*. Diese entwaldungsbedingte Verschlechterung der Wasserqualität im Einzugsgebiet führt durch einen gesteigerten Sedimenttransport, hauptsächlich in der Sandfraktion, zu einem Rückgang der Fischpopulationen. Dieser Prozess ist Teil der öffentlichen Debatte in Nordamerika um den Einfluss der Entwaldung von Uferzonen auf die Schädigung der Fischhabitate, vor allem bei Lachsarten. Schädigungen der Vegetationsdecke führen zu einer *Änderung der lokalen Wasserbilanz*. Die geringere Evapotranspiration (Interzeption) trägt dazu über erhöhte Oberflächenabflüsse und verstärkter *Bodenerosion* bei. Auf Grund des verringerten Wasserrückhaltevermögens der Vegetation und verringerter Infiltration kommt es zu erhöhten, schneller anlaufenden Hochwasserwellen im Einzugsgebiet (Knighton 1998). Diese Fernwirkung des RAUBBAU-SYNDROMS wird z. B. in Bangladesh als eine Ursache für die massiven Überflutungen angesehen.

---

<sup>31</sup> Die Trennung Biosphäre / Pedosphäre ist angesichts des hohen Anteils an Bodenlebewesen nur von analytischer Bedeutung.

### 5.1.2.3 Mögliche Syndromverläufe

Die oben skizzierten syndromrelevanten Kernmechanismen generieren unterschiedliche dynamische Verläufe des Syndroms, d. h. spezifische Kombinationen des Zeitverhaltens der beteiligten Symptome. Bei einfacheren Ursache-Wirkungsgeflechten als dem hier vorliegenden, konnte die formale Deduktion der unterschiedlichen Verläufe mit Hilfe des Konzepts der qualitativen Differentialgleichungen durchgeführt werden (Petschel-Held et al. 1999, 1999a).

Für das RAUBBAU-SYNDROM können aus der systematischen Betrachtung des Beziehungsgeflechts und der induktiven Klassifizierung der Vielzahl der zugrundeliegenden Fallstudien vier qualitativ unterschiedliche Syndromverläufe identifiziert werden. Diese Einteilung zeigt, dass bisher vorgenommene Unterscheidungen (z. B. zwischen Entwaldung in borealen und tropischen Wäldern) zu kurz greifen. Entscheidend für die im folgenden vorgenommene Einteilung ist die Anlehnung an wichtige Grundprinzipien der relevanten Systemzusammenhänge, wie unter anderem in der ökologischen Sukzessionstheorie diskutiert (Tilman 1993; Walter & Breckle 1992). Die unterschiedlichen Syndromverläufe sind hierbei nicht auf qualitativ unterschiedliche Wechselwirkungen innerhalb des Syndromkerns zurückzuführen, sondern vielmehr ein Ausdruck der „Mustergültigkeit“ dieser Beziehungen. Dies bedeutet, ihre allgemeine Charakterisierung in Form von Aussagen wie „*Politikversagen verstärkt oder stabilisiert nicht-nachhaltige Bewirtschaftungsformen*“ lässt diese unterschiedlichen Verläufe zu. Es handelt sich bei diesen Variationen also nicht um grundsätzlich divergierende Typen des Syndroms, sondern um unterschiedliche Zeitverläufe in der Syndromdynamik, welche durch denkbare und in sich konsistente Konstellationen aus Symptomen und ihren Wechselwirkungen möglich sind. Es gilt hierbei zwei grundlegende Aspekte von vorneherein zu unterscheiden, die durch die Fragen:

1. Welche Form des Holzeinschlags wird praktiziert?
2. Wie ist das Ergebnis dieser Einschlagsformen aus ökologischer Sicht zu bewerten?

unterschieden werden können. Dieser technisch-praktische und der ökosystemar-bewertende Aspekt sind voneinander abhängig. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird zunächst nur grob zwischen einem **Typ A**, bei dem der gesamte Waldbestand eines Areals gefällt wird (*clear cut*), und einem **Typ B**, bei dem nur ein selektiver Einschlag, bezogen auf bestimmte Arten, Altersklassen oder Flächenteile, erfolgt, unterteilt. Entsprechend wird auch das Ergebnis dieser Einschlagsmuster nur grob nach zwei Formen unterschieden:

1. Es kann eine vollständige Konversion des Ökosystems erfolgen, wie z. B. bei der Umwandlung von Wald- in Weidefläche.
2. Es kann zu verschiedenen Stufen der Degradation des Waldbestandes kommen, die von der leichten Verlichtung bis hin zu artenarmen, deutlich funktionsreduzierten Restwäldern reichen.

Unterschiedliche Zeitverläufe des RAUBBAU-SYNDROMS werden nun dadurch hervorgerufen, dass das Endergebnis der menschlichen Ressourcenentnahme nicht nur durch deren Form, sondern auch durch ihre Geschwindigkeit sowie die Reproduktionsrate der natürlichen Vegetation bestimmt wird. Dies führt zur Identifikation folgender typischer Verlaufsformen:

1. **Konversionstyp A:** Dieses „reine“ Verlaufsmuster zeichnet sich durch eine politisch ungedämpfte und wirtschaftlich rücksichtslose Nutzung der Ökosysteme aus. Das „*clear cutting*“, mit einer vollständigen Unterdrückung der natürlichen Sukzession, ist eines der typischen Verlaufsmuster von Konversionstyp A. Hier kann es durch *Bodenverdichtung* oder durch den *Verlust* oder die *Fragmentierung* von Räuberhabitaten zur Überpopulation von Herbivoren kommen, die den jungen Pflanzenwuchs abäsen, was eine Regeneration des Ökosystems völlig unterdrückt.
2. **Degradationstyp A:** Wird im Zuge einer ungebremsten Ressourcennutzung auf bestimmte ökologische Gegebenheiten in begrenztem Maße Rücksicht genommen, z. B. in Form einer Flächenselektivität, so ist nicht mit einer vollständigen Konversion, sondern „nur“ mit einer Verschiebung der Ökosystemstruktur zu rechnen. Neben auch positiven Verjüngungsprozessen auf ausgewählten Kahlschlagflächen, kann es zu einer Degradation des gesamten Ökosystems, bestehend in einer deutlichen *Schädigung der Ökosystemstruktur und -funktion* gegenüber dem ursprünglichen Zustand kommen. Längerfristig führt auch dieser leicht gedämpfte Verlauf des RAUBBAU-SYNDROMS zu einer vollständigen *Konversion des betreffenden Ökosystems*. Dieser Syndromverlauf ist typisch für die meisten borealen Wälder, die über die historisch lange und intensive Nutzung zu anthropogen geprägten Sekundärwäldern umgewandelt wurden.
3. **Degradationstyp B:** Auch dieser Verlaufsfall basiert auf einer selektiven Nutzung der Ressource (vgl. Fall 2). Die Selektionskriterien sind hier jedoch nicht primär flächenorientiert, sondern auf bestimmte Arten oder Altersklassen bezogen. Überschreitet dabei der Einschlag die Reproduktionsrate der Ressource, ist der klassische Fall einer nicht-nachhaltigen Forstwirtschaft gegeben. Die Schwere der auftretenden Schädigung des Ökosystems hängt dabei nicht allein von der Reproduktionsrate der nachwachsenden Ressource, sondern zusätzlich vom Grad des Funktions- und Biodiversitätsverlusts, ab. Dieser Verlauf ist für die meisten tropischen Regenwaldgebiete typisch (Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997), die über die Zeit zu mehr oder weniger degradierten Sekundärwäldern geworden sind.
4. **Konversionstyp B:** Unter Umständen kann es im Rahmen der natürlichen Sukzession in Folge des Degradationstyp B zu einer Konversion kommen. Hierbei ist insbesondere auf ein Anstoßen anderer Syndrome zu verweisen, die über die Erschließung, der vormals oft nur schwer zugänglichen Regionen, ausgelöst oder gefördert werden können.

#### **5.1.2.4 Interaktion des RAUBBAU-SYNDROMS mit anderen Syndromen**

Die Bedeutung des RAUBBAU-SYNDROMS für die globale Entwaldungsproblematik variiert in Abhängigkeit von Waldtyp und Nutzung. In borealen Wäldern stellt das Syndrom den Hauptbestandteil der Entwaldung. Andere Formen, wie etwa die Konversion von Wald zu landwirtschaftlicher Nutzfläche, spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. In tropischen Wäldern ist der direkte Beitrag des Syndroms zur Entwaldung wesentlich geringer anzusetzen. Die Konversion zu landwirtschaftlicher Nutzfläche stellt hier den größten Entwaldungsbeitrag. Etwa

50 % der Entwaldung kann hier dem kleinbäuerlichen, subsistenten Wanderfeldbau zugeschrieben werden (Herkendell & Pretzsch 1995). Dieses Muster wurde als Teil des SAHEL-SYNDROMS identifiziert (Abschnitt 5.2; WBGU 1996; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999). Dennoch hat das RAUBBAU-SYNDROM auch in den Tropen eine große, wenngleich indirekte, Bedeutung für die globale Entwaldung: Es fungiert hier als eine Art „Pionier“- oder „Katalysatorsyndrom“ (Syndromkopplung) für andere Muster der Waldzerstörung. Als Folge der Erschließung von Waldregionen für, bzw. durch Holzfirmen kommt es zu einer Verbesserung der allgemeinen Zugänglichkeit der Region. Entlang der neu angelegten Straßen wandern oft landlose Wanderfeldbauern aber auch Großgrundbesitzer ein. Diese, mit dem eigentlichen RAUBBAU-SYNDROM nicht direkt verbundenen Akteure können nun große Waldflächen in landwirtschaftliche Nutzflächen umwandeln, die anschließend im Zuge von einem ausbrechendem SAHEL- bzw. DUST-BOWL-SYNDROM degradiert werden können. Zum Teil agieren sogar die Holzfirmen selbst als große Viehzüchter auf den konvertierten Waldflächen, um einerseits längerfristige Landrechte zu erhalten, aber auch um ihre kurzfristigen Gewinne in länger- und mittelfristig stabile Bodenwerte anzulegen. Hierdurch das enorme Schadenspotential des selektiven Holzeinschlags deutlich. Da für den selektiven Einschlag von ertragreichen Edelhölzern, wie z. B. Mahagoni, Erschließungswege von bis zu 500 km in Kauf genommen werden (Verissimo et al. 1995), führt diese verschiedentlich als „umweltschonende“ Form der Forstwirtschaft bezeichnete Nutzungsform zu erheblichen Folgeschäden. Auch ein solcher, auf den ersten Blick, nur „kleiner“ Eingriff, führt zur großräumigen Erschließung der entsprechenden Waldgebiete, die dadurch für unterschiedliche Nutzungsinteressen geöffnet werden. Die der Erschließung folgende Degradation reicht oft bis hin zur völligen Zerstörung der landwirtschaftlich nutzbaren Bodenschicht und kompletten Zerstörung von natürlichen Ökosystemen.

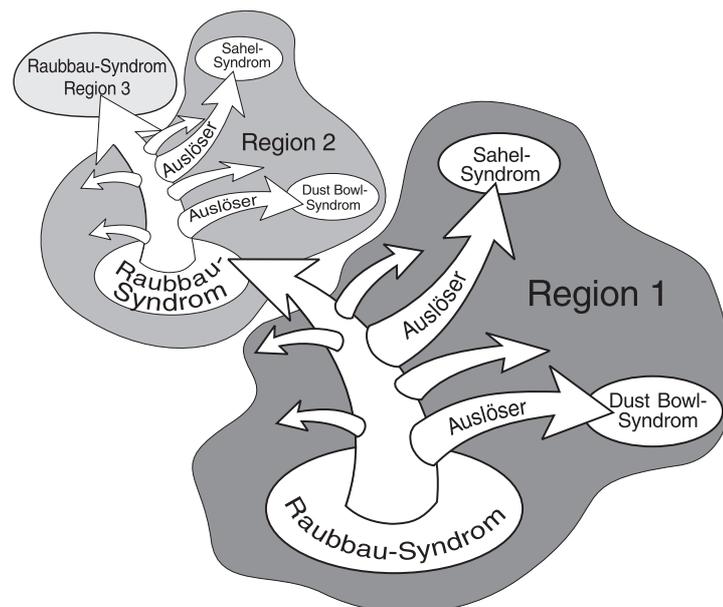


Abbildung 12: Das RAUBBAU-SYNDROM als auslösendes Element für das SAHEL-SYNDROM und das DUST-BOWL-SYNDROM (Cassel-Gintz & Petschel-Held 2000).

Diese Wirkung des RAUBBAU-SYNDROMS als auslösender Expositionsfaktor für andere Syndrome ist in Abbildung 12 schematisch dargestellt. Dieser Prozess wird in vielen Fallstudien zur tropischen Entwaldung beschrieben (vgl. Heilig 1994; Walker & Homma 1996; Mertens & Lambin 1997; Lambin & Mertens 1997; Rudel & Roper 1997; WRI 1997; Parayil & Tong 1998; Stone 1998). Ein ähnlicher Verlauf ergibt sich auch bei der Erschließung von vorher unzugänglichen Regionen im Zusammenhang mit dem Ausbau von Infrastruktur zum Bau von technischen Großprojekte, wie z. B. Staudämmen, oder auch bei der Erschließung von Bodenschätzen. Diese Formen der Umweltdegradation sind dem ARALSEE-SYNDROM und dem KATANGA-SYNDROM zuzurechnen (WBGU 1997).

### **5.1.3 Disposition von Waldökosystemen für das RAUBBAU-SYNDROM**

Für die Analyse der aktuellen Dynamik und zur Identifizierung gefährdeter Regionen ist die Ermittlung der Disposition des RAUBBAU-SYNDROMS notwendig. Nur mit Hilfe solcher Informationen lassen sich drohende Fehlentwicklungen frühzeitig verhindern. Formal beantwortet das Konzept des Dispositionsraums die Frage nach den Bedingungen, unter denen die Wechselbeziehungen des Syndromkerns potentiell wirksam werden können.

Eine Disposition von Wäldern für das RAUBBAU-SYNDROM wird dann als gegeben betrachtet, wenn die kurzfristige ökonomische Nutzung ihrer Holzprodukte möglich und wahrscheinlich ist. Andere Produkte des Waldökosystems können hier vernachlässigt werden, sofern ihre Gewinnung keine substantielle Schädigung des Ökosystems nach sich zieht. Die Disposition wird nicht allein durch das Vorhandensein von Wäldern bestimmt, sondern auch durch dessen wirtschaftlicher Nutzbarkeit. Dies bedeutet, dass über die bloße Potenz hinaus, die durch die Anwesenheit von Wald gegeben ist, die „*Möglichkeit*“ einer Nutzung, die als nur durch mittelfristig veränderliche, volkswirtschaftliche Gegebenheiten konstituiert ist, gegeben sein muss. Demgegenüber ist von Exposition dann zu sprechen, wenn die Nutzung der Holzprodukte auf Grund der Analyse der Angebots- und Nachfragesituation gewinnbringend erscheint, oder andere nicht primär ökonomische Expositionsfaktoren auftreten. Hier wirken vor allem kurzfristig veränderliche Randbedingungen, d. h. binnen Monaten bis 1 - 2 Jahren. Insgesamt liegt der im folgenden beschriebenen Bestimmung des Dispositionsraums eine eher konservative Vorgehensweise in der Bewertung der verwendeten Indikatoren zu Grunde, d. h. eine Überschätzung des Dispositionsraums wird eher toleriert als seine Unterschätzung. Angesichts der globalen Bedeutung der Wälder für Mensch und Natur sowie mit Blick auf die bestehenden Unsicherheiten in der Definition sowohl von „Wald“ als auch von „Entwaldung“ erscheint ein derart vorsichtiges Vorgehen angebracht.

#### **5.1.3.1 Die Dispositionsfaktoren**

Die für ein Einsetzen des RAUBBAU-SYNDROMS notwendige ökonomische Nutzbarkeit von Waldgebieten, bezieht sich zum einen auf eine ökonomisch nutzbare Holz- bzw. Biomassendichte sowie die möglichst kostengünstigste Erreichbarkeit der Ressource. Dieser Zusammenhang von Transportkosten und Landnutzung in der Entwaldung wird auch in anderen Studien angeführt (Lambin & Mertens 1997; Stone 1998; Angelsen 1999). Dieser Ansatz

lässt sich mit Theorie der Bodenrente von von Thünen ökonomisch begründen. Es lässt sich die Grundaussage ableiten, dass die Distanz vom Markt in Abhängigkeit von Transportkosten, inklusive Erschließungskosten und Verkaufspreis, die Landnutzung außerhalb des Marktes bestimmt (Stone 1998). Die „ökonomisch verwertbare Biomassendichte“<sup>32</sup> wurde mit Hilfe von Expertenabschätzungen (Kohlmaier et al. 1997) und einem Modell zur globalen Vegetationsdynamik (Sitch pers. Mitteilung) abgeschätzt und mit einer kompensatorischen UND-Verknüpfung mit „erreichbaren Waldressourcen“ verknüpft, wobei von einer für eine ökonomische Rentabilität benötigte Mindestbiomassendichte ausgegangen wird. Die verwendete Waldgebietsmaske stammt aus der in ein 5' Raster (~ 10 x 10 km am Äquator) umgewandelten *World Forest Map* des World Resource Institutes (WRI 1998). Nicht alle als nutzbar qualifizierten Waldgebiete sind jedoch in gleichem Maße disponiert. In vielen Regionen der Welt wurden, im Rahmen nationaler und internationaler Gesetze und Abkommen, Waldschutzgebiete mit unterschiedlichen Graden der Nutzungseinschränkung eingerichtet. Gebiete mit einem Schutzstatus von Klasse I - V nach der IUCN Einteilung (Iremonger et al. 1997) werden als nicht nutzbar ausgewiesen. Ein gesetzlicher Schutz gegenüber illegaler Abholzung durch die Ausweisung von Schutzgebieten (z. B. Biosphärenreservate des *Man-and-the-Biosphere* Programms der UNESCO) ist allerdings nicht immer ausreichend und abhängig von lokalen, zeitlich variablen Faktoren. Da eine Abschätzung der lokalen Rechtssicherheit dieser Schutzgebiete im Rahmen von eher kurzfristigen Einflussgrößen liegt und daher im Bereich der Intensitätsmessung vorgenommen wird, werden die Schutzgebiete für die Bestimmung der Disposition ausgeschlossen. Die generelle Erreichbarkeit der Wälder wurde durch die Berechnung einer virtuellen Kostenoberfläche unter Berücksichtigung der Geländetopographie erzeugt, wobei Regionen mit „geringer Steigung“ mit „geringeren Kosten“ überwindbar sind. Grundannahme ist, dass Waldgebiete, die zu „geringen Kosten“ erreichbar sind, vor solchen ausgebeutet werden, deren Erschließung und Nutzung mit einem hohen technischen und organisatorischen Aufwand verbunden ist. Um diesen Aufwand näher zu bestimmen, wurde eine Fuzzy-Logik-basierte Verknüpfung der Faktoren vorgenommen: Nähe zu Straßen und Eisenbahnen, Nähe zu schiffbaren Flüssen, Nähe zu flachen Küstengebieten sowie Nähe zu urbanen Zentren und Siedlungsgebieten. Permafrostgebiete sowie schiffbare Flüsse ohne eisfreie Häfen wurden als nur schwer erreichbar eingestuft. Demgegenüber sind biomassereiche Wälder, ohne Steigungen, in der Nähe der zivilisatorischen Infrastruktur als hoch gefährdet anzusehen.

### 5.1.3.2 Verschneidung und Fuzzifizierung der Dispositionsfaktoren

Um im Rahmen der Dispositionsbestimmung unscharfe, d. h. nicht scharf abgrenzbare, oder qualitative Aussagen zusammen mit quantitativen Informationen zu verbinden, werden die mathematischen Konzepte der Fuzzy-Mengen und Fuzzy-Logik genutzt (Böhme 1993; Cassel-Gintz et al. 1997). Diese Konzepte werden in der Definition von Zugehörigkeitsgraden von Variablen zu geeigneten linguistischen Kategorien (hoch, niedrig etc.),  $\mu_{\text{ling. Kat.}}^{\text{Variable}}$  mit ( $0 \leq \mu \leq 1$ ) in Bezug auf ihren Beitrag zur Disposition und über geeignete Fuzzy-

---

<sup>32</sup> „ökonomisch verwertbare Biomassendichte“ stellt eine linguistische Variable im Sinne der Fuzzy-Logik dar; wobei „verwertbare Biomassendichte“ die Variable und „ökonomisch“ ihre Kategorie ist (siehe Appendix I).

Verschneidungsoperatoren zur Kombination der einzelnen Dispositionselemente angewandt. Eine kurze Einführung in die Konzepte der Fuzzy-Logik ist in Appendix I gegeben.

Im ersten Schritt der Dispositionsbestimmung werden zunächst die Ausgangsvariablen zur Erzeugung einer *Infrastrukturmaske*<sup>33</sup> miteinander verschnitten. Eine „gute Erreichbarkeit“ für die *Infrastrukturmaske* wurde für jeden Ort innerhalb einer 5' Rasterzelle dicht besiedelter oder urbaner Gebiete, als generell gegeben angesehen. Zur Identifikation dieser urbanen Räume wurden die 5' Rasterzellen aus der *World Demography* Datenbank (Tobler et al. 1995) mit den jeweils höchsten Bevölkerungsdichten in einem Land aggregiert, bis der vom WRI (1996) länderweit angegebenen Anteil der urbanen Bevölkerung erreicht wurde. In weniger dicht besiedelten Gebieten bilden das *Straßennetz*, das *Bahnnetz* und *schiffbare Flüsse* sowie die *Küstenlinien* (Arcworld 1992; US Departement of Transportation) Korridore von verkehrstechnisch erschlossenen Zellen. Die Vektoren wurden dabei in Rasterzellen mit einer Auflösung von jeweils 5' Auflösung umgewandelt. Durch diesen Vorgang wird impliziert, dass jeder Ort der weniger als 10 km von Verkehrsinfrastruktur entfernt ist, ohne größere Kosten erreicht werden kann. Die resultierenden Datenschichten wurden mit einer booleschen ODER Verschneidung verknüpft, so dass alle Orte innerhalb einer Rasterzelle, die eine oder mehrere dieser Variablen enthält, als mit „guter Verkehrsinfrastruktur“ erschlossen, anzusehen sind. Alle zugänglichen Zellen bilden eine binäre Zielmaske (0 / 1 Kodierung) für die Erstellung einer Kostenoberfläche. Für alle anderen Gitterzellen wird die jeweils kostengünstigste Entfernung zu den Zellen der Zielmaske in Abhängigkeit von der *Topographie* errechnet. Auf der Grundlage eines digitalen Höhenmodells (5' Raster - ETOPO5, US National Geophysical Data Center) wurden die Steigungen errechnet und mit einer linearen Rampenfunktion (Abbildung 13a) zur linguistischen Variable „hoheSteigung“,  $\mu_{hoch}^{Steigung}$ , fuzzyfiziert welche die virtuellen Kosten zur Überwindung einer Zelle abbildet. *Permafrostgebiete* und *IUCN Schutzgebiete der Klassen I - V* werden dabei in der resultierenden Kostenoberfläche als nicht erreichbar eingestuft. Dieses Maß beschreibt von jeder Rasterzelle aus die aggregierten Kosten, die aufgewendet werden müssen um eine Zelle zu erreichen, die als mit Infrastruktur ausgestattet definiert ist. Je höher die Kosten zur Erreichung einer Rasterzelle, desto ungeeigneter wird sie für eine potentielle Nutzung. Aus dem Wert der erzeugten Kostenoberfläche wird durch eine Fuzzyfizierung die Variable „niedrige Kosten“,  $K$  (Abbildung 13b), abgeleitet. Diese Rampe hat die Form einer umgedrehten J-Kurve und trägt damit der verstärkten Nutzung von nahen Gebieten gegenüber entfernteren Regionen Rechnung. Dies begründet sich mit der Überlagerung der Reichweiten der an der Entwaldung beteiligten Akteure, wobei nur große Holzeinschlagsfirmen die Kosten für eine weit entfernte Exploitation tragen können, aber relativ viele Akteure sich die niedrigen Kosten für eine Erschließung des Nahraums teilen. Dieses Maß der *Kosten* der Erreichbarkeit, wurde mit einer globalen Karte der Waldgebiete, ( $W$ , 0 / 1 kodiert; Abbildung 13c), unter Nutzung eines Fuzzy-UND Operators (Minimum; Gleichung 1; siehe Appendix 1) zu einem Raster der „gut erreichbaren Waldressourcen“,  $WG$ , verknüpft.

$$\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit} = \mu (W \wedge K) = \min \left\{ \mu_{Wald}^{Wald}, \mu_{niedrig}^{Kosten} \right\} \quad \text{Gleichung 1}$$

<sup>33</sup> Variablen werden im Folgenden *kursiv* dargestellt.

Da der Holzeinschlag erst ab einer bestimmten Stammdicke profitabel ist, wurde die „verwertbare Biomassendichte“,  $B$ , einer Expertenabschätzungen (Kohlmaier et al. 1997) zu  $\mu_{hoch}^{Biomasse}$  fuzzyfiziert (Abbildung 13d), und mit einem min-max-Kompensations-Operator ( $K_{0,5}$ -Operator; Gleichung 2) mit den „gut erreichbaren Waldressourcen“ zu der Variablen „hohe Disposition“ für das RAUBBAU-SYNDROM, verknüpft.

$$\begin{aligned}
 \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu(WG \hat{\wedge} B) \\
 &= K_{0,5}(\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}) \\
 &= (\min\{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}\})^{1-0,5} \cdot (\max\{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}, \mu_{hoch}^{Biomasse}\})^{0,5} \\
 &= \sqrt{\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit} \cdot \mu_{hoch}^{Biomasse}}
 \end{aligned}
 \tag{Gleichung 2}$$

Dieser  $K_{\gamma}$ -Operator beschreibt das menschliche Verhalten Kompromisse einzugehen. Er enthält Minimum und Maximum Operationen, die je nach Situation mehr zu einem UND, für  $\gamma$ -Werte nahe 0, oder zu einem ODER, für  $\gamma$ -Werte nahe 1, gewichtet werden können. Dieses Verhalten wird als kompensatorische UND-Verknüpfung bezeichnet (Böhme 1993). Für  $\gamma = 0.5$  liefert der Operator das geometrische Mittel aus Minimal- und Maximalwert. Der  $K_{0,5}$ -Operator wurde gewählt, um die ökonomische Handlung der holzeinschlagenden Akteure besser repräsentieren zu können. In Kombination einer guten Erreichbarkeit mit einer relativ schlechten Biomassendichte oder einer schwer zugänglichen aber hochwertigen Ressource, reicht schon die positive Bewertung einer Komponente für eine Entscheidung zur Exploitation der Ressource aus. Eine graphische Darstellung diese Operators ist in Abbildung 14 gegeben.

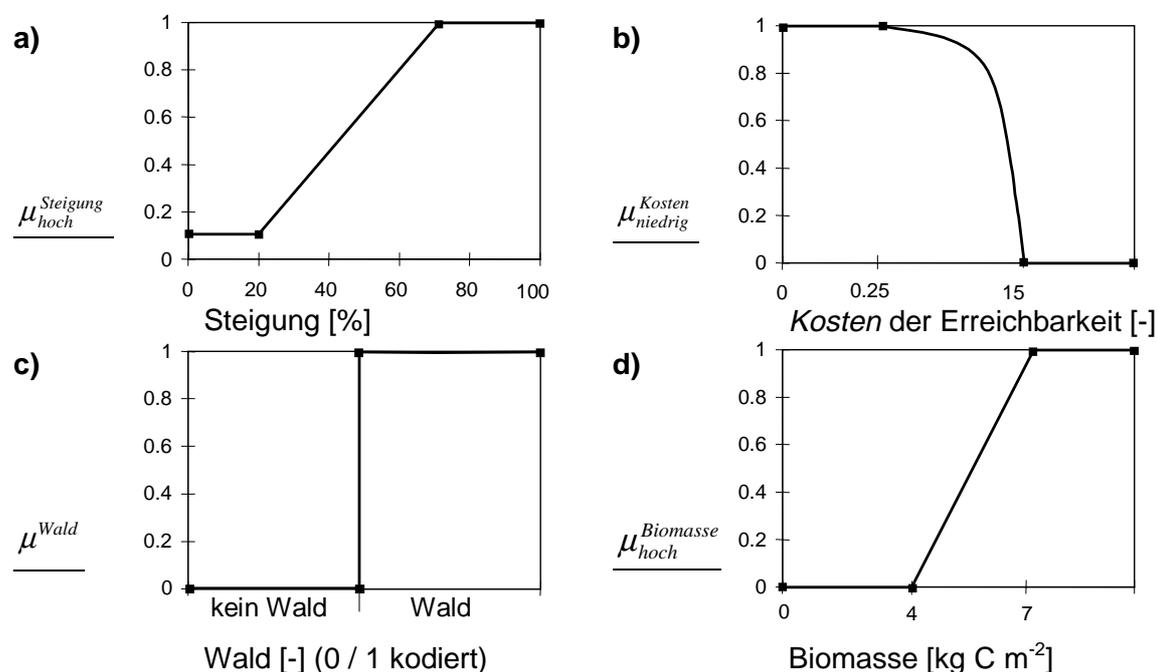


Abbildung 13: Fuzzyfizierung von Dispositionsvariablen im RAUBBAU-SYNDROM.

Die hier beschriebene Vorgehensweise ist in dem fuzzy-logischen Bewertungsbaum in Abbildung 15 zusammenfassend dargestellt.

Abbildung 14: Darstellung der Oberfläche der Zugehörigkeit zur linguistischen Variable  $\mu_{hoch}^{Disposition}$ , durch eine Verknüpfung von  $\mu_{hoch}^{Biomasse}$  und  $\mu_{hoch}^{Waldreichbarkeit}$  mit einem min-max-Kompensations-Operator  $K_{\gamma}$ , mit  $\gamma = 0.5$ .

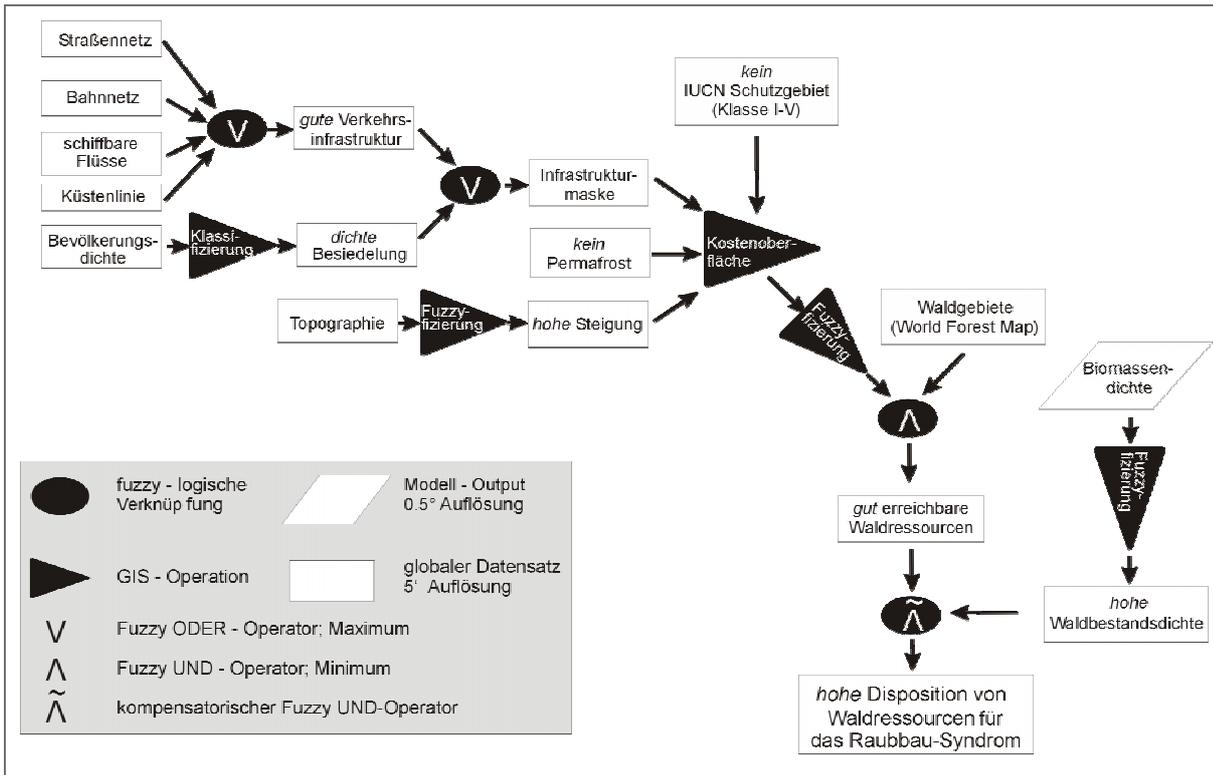
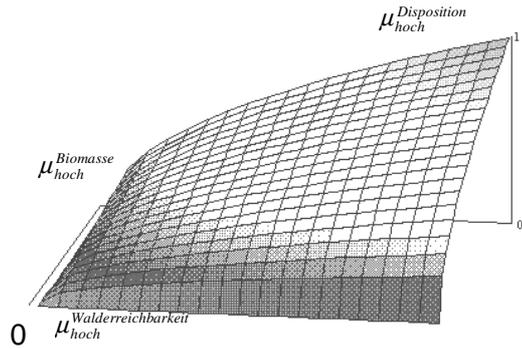


Abbildung 15: Fuzzy-Logischer Bewertungsbaum zur Bestimmung der Disposition von Waldressourcen für das RAUBBAU-SYNDROM.

### 5.1.3.3 Interpretation der räumlichen Verteilung der Disposition

Die auf diese Weise erstellte Karte (Abbildung 16) zeigt die geographische Verteilung gut erreichbarer und ökonomisch rentabler Waldgebiete. Helle Regionen sind schwer erreichbar oder haben nur sehr geringe Biomassendichten, d. h. sie sind nur wenig disponiert für das RAUBBAU-SYNDROM; dunkle Regionen sind gut erreichbar und verfügen über ausreichende oder gute Biomassendichten, d. h. sie sind hoch disponiert.

#### Amerika

Als besonders hoch disponiert erscheinen die Wälder der dichtbesiedelten Regionen der Ostküste. Hier findet vor allem noch in den nördlichen „New England“ Staaten eine intensive Holzwirtschaft statt. Hier hat gegen Ende des 19. und zu Beginn des 20. Jahrhunderts das RAUBBAU-SYNDROM gewütet. Die fast völlige Zerstörung der Wälder führte 1892 zu der Grün-

derung des „Adirondack National Parks“. Heute ist ein Großteil der amerikanischen „New England“ Staaten wieder dicht mit Sekundärwald bewaldet. In den Appalachen und Adirondacks findet allerdings auch heute noch eine forstwirtschaftliche Nutzung mit „Clear Cuts“ statt.

In Kanada erscheinen vor allem die Regionen entlang des St. Lorenz, weite Teile von Quebec, die Regionen um die Großen Seen, das nördliche Ontario sowie die Waldgebiete der Prärieprovinzen und der Westküste (*British Columbia*) als hoch gefährdet. In diesen Regionen ist auch ein Großteil der kanadischen Holzproduktion angesiedelt. Vor allem auch der Holzeinschlag in den Nebelwäldern an der Westküste von *Vancouver Island* (*Great Bear Rainforest*, *Clayoquot Sound*) und dem Festland von *British Columbia* sind aktuell Thema in der Entwaldungsdiskussion (Diem 1993; Soltwedel-Schäfer 1997; Greenpeace 1998).

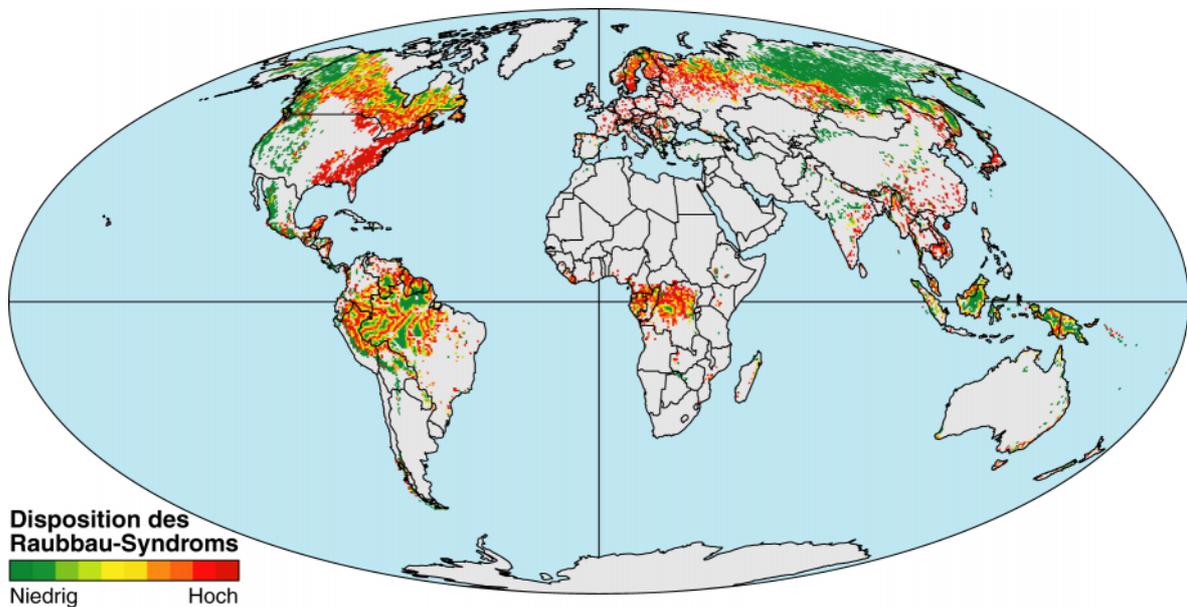


Abbildung 16: Disposition gegenüber dem RAUBBAU-SYNDROM. Weiße Flächen sind nicht bewaldet.

In Zentralamerika erscheinen vor allem Yucatan und die karibischen Küstenwälder Costa Ricas und Nicaraguas als disponiert. Die verbliebenen Primärwälder in dieser Region werden auch in der auf Expertenbefragung beruhenden Studie der „Frontier Forest Initiative“ (WRI 1997) als hoch gefährdet eingestuft. Besonders die Wälder der „Sierra Madre Occidental“ der „Maya Forest Region“ sowie entlang des „Pan American Highway“ werden als stark von Holzeinschlag bedroht beschrieben, ein weiteres Beispiel für den Zusammenhang zwischen der Erschließung von Regionen und der Bedrohung von Waldökosystemen.

In Südamerika sind die gut erreichbaren Regionen des Amazonas-Beckens und das Guyana-Schild hoch disponiert. Diese Regionen werden in vielen Fallstudien und von der FAO (1999) als Entwaldungsschwerpunkte identifiziert. Auch die Restbestände der brasilianischen Küstenregenwälder erscheinen hoch gefährdet (vgl. Dünckmann & Wehrhahn 1998). Die großen, noch relativ intakten Küstenwälder im südlichen Chile erscheinen als teilweise disponiert (Richter & Bähr 1998). Neuere Entwicklungen deuten darauf hin, dass die Chilenische Regierung diese

Wälder zur Finanzierung eines ökonomischen Entwicklungsschub opfern will<sup>34</sup>. Diese Einschätzung wird auch in der „*Frontier Forest Initiative*“ Studie (WRI 1997) geteilt.

### **Afrika**

In Afrika werden vor allem die letzten verbliebenen großen Sekundär- und Primärwaldgebiete im Kongobecken als disponiert identifiziert. Diese Einschätzung erscheint allerdings als etwas zu hoch, da sich die negativen Effekte der kriegerischen Auseinandersetzungen der letzten Jahre in den verwendeten Daten nicht niederschlagen. So war etwa 1960 die Zahl der für die Entwaldung nutzbaren Straßen im Kongogebiet wesentlich größer als heute (FAO 1999). Dies stellt ein starkes Hemmnis für die ökonomische Exploitation der Holzressourcen dar. Des Weiteren sind die verbleibenden Wälder Madagaskars, des Äthiopischen Hochlands, sowie die verbliebenen Küstenwälder entlang des Golf von Guinea, vor allem in Sierra Leone, Liberia, Elfenbeinküste, Ghana, Togo und Nigeria, hoch disponiert.

### **Asien und Ozeanien**

Das kontinentale Südostasien weist kontinuierlich hohe Dispositionswerte aus. Dies erscheint auf Grund der vorhandenen Fallstudien als plausibel (vgl. Krings 1998). Zwischen 1960 und 1980 hat Asien etwa 1/3 seiner tropischen Wälder verloren (Singh & Marzoli 1995) und nimmt damit den weltweiten Spitzenplatz in der Waldkonversion ein. Auch die verbliebenen Waldgebiete in Kalimantan, Sarawak, Irian Jaya und Papua-Neuguinea erscheinen als hoch disponiert, wobei in letzterem die Disposition als etwas zu hoch eingestuft erscheint, da diese Region nur sehr schwer zugänglich und nur wenig erschlossen ist. Die meisten der tatsächlich zugänglichen Wälder in Borneo, Sumatra, Sulawesi und Irian Jaya sind bereits dem Raubbau anheim gefallen, so dass nur noch Wälder in sehr unzugänglichen Regionen verbleiben (WRI 1997). Auf Grund ihrer herausgehobenen ideellen Bedeutung erscheint die hohe Disposition der Wälder Japans als zu hoch. Solange Japan die Wälder der anderen pazifischen Staaten zur Befriedigung seiner Nachfrage nutzt, ist eine mögliche Exploitation dieser Wälder durch ihren speziellen sozialen und kulturellen Status nicht wahrscheinlich.

### **Europa und Russland**

Die Wälder Fennoskandiens und Russlands erscheinen als sehr hoch disponiert. Vor allem von den großflächiger Stammholzextraktionen in Karelien, Kola und Komi sind schwerwiegende Umweltprobleme bekannt (Greenpeace 1998). Auch in den südlichen Waldgebieten der sibirischen Taiga ist der zerstörende Umwelteinfluss kommerzieller Holzentnahme gut dokumentiert. Hier sind es vor allem internationale, meist asiatische Holzfirmen, welche die Wälder Sibiriens als eine neue lohnende Quelle zur Befriedigung der globalen Nachfrage nach Holzchips ansehen (WRI 1997). Hier werden auch die Habitate des Sibirischen Tigers stark bedroht. Vor allem vom Zufluss internationalen Kapitals für die Erschließung der sibirischen Wälder geht eine hohe Bedrohung dieses bedeutenden Ökosystems durch das RAUBBAU-SYNDROM aus.

---

<sup>34</sup> TAZ, die Tageszeitung, Nr. 5247, vom 09.06.97; Seite 14, Hintergrund.

#### 5.1.4 Abschätzung der Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS

Die Schwierigkeit in der Abschätzung der aktuellen Stärke und Verteilung der verschiedenen Typen des RAUBBAU-SYNDROMS, besteht in der unzureichenden Menge räumlich aufgelöster Daten zu Art, Umfang und Ursache der Entwaldung. Bei Untersuchungen mit Hilfe von Satelliten- oder Luftbildern wird die Degradation von Waldökosystemen häufig unterschätzt, da hierbei kaum Aussagen über den Grad der Ausdünnung möglich sind (vgl. Nepstad et al. 1999). Auch sind hieraus keine Ergebnisse hinsichtlich der Ursache der Entwaldung, also etwa für Weidewirtschaft, Straßen- oder Staudambau, oder auch Ackerbau, zu gewinnen. Dieses generelle Manko auf Seiten der Datenverfügbarkeit wird zur Zeit im Rahmen eines globalen Waldinventars zu beheben versucht, dessen Ergebnisse allerdings erst in den nächsten ein bis zwei Jahren zu erwarten sind (FAO 1999).

##### 5.1.4.1 Bestimmung der Grundtypen des Syndroms

Diese Datendefizite führen zu einer indirekten Bestimmung der Grundverlaufstypen des RAUBBAU-SYNDROMS - Degradation versus Konversion. Die Untersuchungen wurden für den Zeitraum 1990 – 1995 mit globalen Datensätzen durchgeführt. Auf Basis länderspezifischer Datensätze zum Verlust von Waldflächen wurden zunächst mit Hilfe eines globalen, dynamischen Vegetationsmodells (LPJ: Lund-Potsdam-Jena-Modell, Sitch; pers. Mitteilung), die im Rahmen der Konversion möglichen Biomasseentnahmen abgeschätzt. Es sind jedoch weder der Anteil des im Rahmen der Konversion tatsächlich genutzten Holzes noch der Ort der Konversion bekannt. Daher lässt sich die im Rahmen der Konversion erzielte Holzproduktion (Term 1. in Gleichung 3 dividiert durch Umrechnungsfaktor 0.57 zwischen Rundholz und stehender Biomasse) nur nach oben, das bedeutet die volle Nutzung in den jeweils produktivsten Regionen ( $u=1$  in Gleichung 4 und  $I_k$  ist so gewählt, dass  $\min c_i \geq \max c_j; i, j \in I_k$ ), abschätzen. Die untere Abschätzung ergibt sich zu null, entsprechend der Nichtnutzung des Holzes in den konvertierten Waldflächen ( $u=0$ ). Vergleicht man in einem zweiten Schritt den so abgeschätzten Holzertrag aus der Konversion mit den entsprechenden empirischen Daten für die gesamte Holzproduktion eines Landes, so muss sich die Differenz (Term 2. in Gleichung 3) durch die Degradation bestehender Waldflächen ergeben (dabei: Degradationsgrad > 90% nach FAO-Definition). Betrachtet man den oben eingeführten Anteil der Holznutzung  $u$  hier als unabhängige Größe, so ergibt sich auf diese Weise die zu einem beliebigen Anteil gehörige Holzproduktion, die mit einer Degradation des Waldes verbunden ist. Wiederum mit Hilfe des globalen Vegetationsmodells ermittelt sich daraus die zugehörige Degradationsfläche. Da jedoch erneut der Ort der Degradation unbekannt ist, ist auch hier nur eine Abschätzung nach oben, bzw. unten möglich, d. h.  $I_D$  in Gleichung 3 wird einmal so gewählt, dass es die noch freien Pixel mit der höchsten Biomasse beinhaltet und einmal so, dass es die Pixel mit der niedrigsten Biomasse beinhaltet. Abbildung 17 zeigt beispielhaft das Ergebnis dieser Abschätzung im Falle Brasiliens. Die Linie oberer Abschätzung ergibt sich, wenn Konversion und Degradation auf den unproduktivsten, diejenige der unteren Abschätzung, wenn beides auf den produktivsten Standorten vorgenommen wurde. Die tatsächlich durch Holzentnahme degradierte Waldfläche sollte somit zwischen den beiden Linien liegen.

Kohlenstoffbilanz:

Gleichung 3

$$PR_k = \underbrace{\sum_{i \in I_k} c_{i(k)}}_1 + \underbrace{\sum_{j \in I_D} d_j \cdot c_j}_2$$

wobei,  $PR_k = 0.57 \cdot \overline{PR}_k$ 

$\overline{PR}_k$  = Produktion von Rundholz im Land  $k$ , gemessen in  $m^3$ ,  
mit Umrechnungsfaktor  $0.57 [tC/m^3 \text{ Rundholz}]$  zur Umrechnung in kg stehender Biomasse (incl. Wurzeln, Ästen, etc.)  $PR_k$  (nach Schlamadinger et al. 1995)

 $I_D$  = Indexmenge degradiertes Pixel
$$d_j = \text{Degradationsgrad auf Pixel } j \left( \frac{\text{Entnommene Biomasse}}{\text{stehende}} \right)$$

vereinfacht auf

 $d_j = d = 0.9$  (nach FAO Definition)die gesuchte Degradationsfläche  $DF_k(u)$  ergibt sich dann als:  $DF_k(u) = \sum_{j \in I_D} A_j$ 

$$c_{i(k)} = \bar{c}_{i(k)} \cdot A_{i(k)} [tC], \quad \text{mit } \sum_{i \in I_k} A_i = u \cdot kF_R$$

Gleichung 4

wobei,  $\bar{c}_{i(k)} [kg C / m^2]$  = Flächendichte der stehende Biomassendichte  
auf einem Pixel im Land  $k$

 $A_{i(k)} [m^2]$  = Fläche eines Pixels

$u$  = Anteil des Holzes, das auf den konvertierten Flächen stand,  
das in die Produktion Eingang fand; frei wählbarer  
Parameter.

$kF_R$  = konvertierte Waldfläche im Land  $k$  während des  
Beobachtungszeitraums (1990 - 1995)

 $I_k$  = Indexmenge konvertierter Pixel

Diese Art der Abschätzung führt zu charakteristischen Unterschieden zwischen tropischen Regionen und gemäßigten bzw. borealen Regionen. Die Ergebnisse der meisten Tropenländer ähneln denen Brasiliens: für Holzentnahmen größer einem kritischen Anteil  $u_{crit}$  der als konvertiert ausgewiesenen Fläche ist, auf Grund der Kohlenstoffbilanz, eine Nutzung anderer Waldressourcen nicht zu erwarten. Für Brasilien liegt dieser Wert zwischen 25 und 65 %. Da jedoch unterschiedlichen Quellen zufolge, der Anteil der Holzproduktion an der Flächenkonversion in Brasilien eher in der Größenordnung von 5 - 10% liegt, kann hier, wie auch bei anderen Tropenländern, davon ausgegangen werden, dass eine Mischform zwischen Konversion und Nutzung unter Fortbestand des Waldes, mit möglicher Degradation verbunden, vorliegt. Die ermittelte Größenordnung für die genutzte Fläche stimmt im Fall Brasiliens mit den Angaben von Nepstad et al. (1999) überein, die für Amazonien, neben der Entwaldung, eine durch Holzeinschlag geschädigte Fläche von  $10.000 - 15.000 \text{ km}^2 \text{ Jahr}^{-1}$  angeben. Dagegen weisen die Länder des Nordens durchweg einen hohen Grad an Nutzung ohne Konversion auf. Dieser Unterschied lässt sich durch den Wert von  $u_{crit}$  zusammenfassen ( $u_{crit} > 1$  für Länder des Nordens). Abbildung 18 zeigt die globale Verteilung dieses Indikators für Mischnutzung. Wie zu erwarten weisen die meisten Tropenländer eine Mischform der

Holznutzung auf. Nur wenige Länder wie z. B. Bolivien oder Venezuela sind weitgehend durch einen einzigen Konversionstyp gekennzeichnet. Dagegen ist in den Ländern des Nordens durchweg nicht Konversion, sondern eine reine Nutzung bestehender Waldbestände zu beobachten. Allerdings ist hier das bereits diskutierte Problem der nur länderweiten Auflösung der verwendeten Daten zu berücksichtigen, so weist Kanada als Ganzes eine Zunahme der Waldfläche auf, obwohl in großen Bereichen noch Kahlschlag betrieben wird. Auch fallen hier Aufforstungsprogramme ins Gewicht, die auf der aggregierten Ebene der Modellrechnung für einen Ausgleich der kahlgeschlagenen Flächen sorgen. Abgesehen von diesen Einschränkungen kann das in Abbildung 18 dargestellte Maß als Angabe für den in einem Land vorherrschenden Typ des RAUBBAU-SYNDROMS, d. h. Konversions- oder Degradationstyp, ohne Angabe der Stärke des Syndroms betrachtet werden.

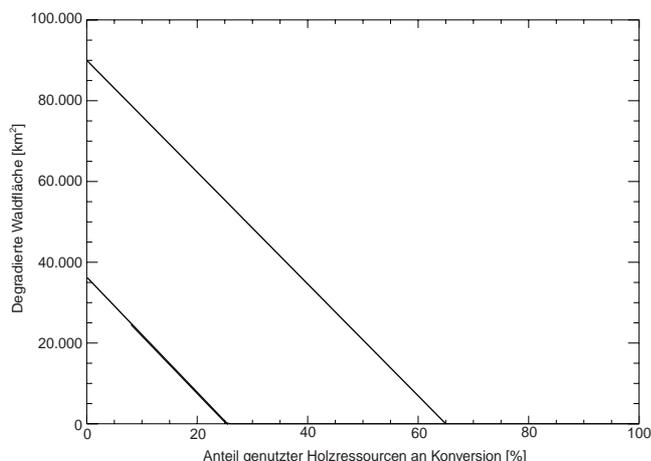


Abbildung 17: Graphik zur Abschätzung des Grades  $u$  der Waldnutzung zur Holzgewinnung ohne Konversion der Waldfläche am Beispiel Brasiliens.

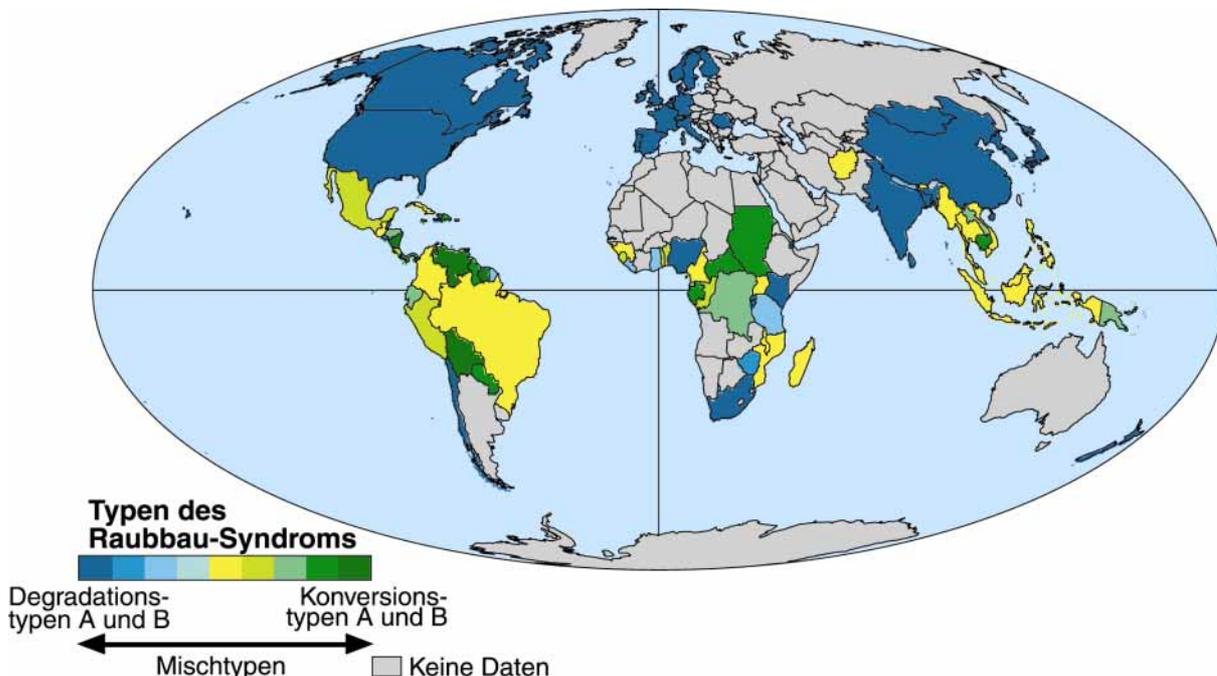


Abbildung 18: Vorherrschende Typen des RAUBBAU-SYNDROMS in länderweiter Darstellung ohne Angabe der Stärke des Auftretens des Syndroms; blau = **Degradationstypen A & B**; grün Schraffur = **Konversionstypen A & B**; dazwischen = **Mischformen**).

### 5.1.4.2 Intensität des Syndroms im Hinblick auf Waldökosysteme

Die Intensität ist definiert als Maß der Aktivität und Stärke der konstituierenden Mechanismen des Syndromkerns (Abbildung 11). Im Folgenden wird eine erste Abschätzung der wesentlichen Kernsymptome *Übernutzung biologischer Ressourcen* und *Politikversagen* gegeben.

#### Nutzung biologischer Ressourcen

Die Abschätzung der Dynamik der Nutzung biologischer Ressourcen beruht auf den statistischen Angaben der FAO (1999) für die Rundholzproduktion eines Landes. Damit ist insbesondere Feuerholz in den folgenden Untersuchungen enthalten. Da es wahrscheinlich ist, dass die in den offiziellen Statistiken auftauchenden Zahlen sich auf Markthandel beziehen, ist nicht zu erwarten, dass diese Statistiken den informellen Sektor einschließen, welcher dem Muster des SAHEL-SYNDROM zugeschlagen werden muss (vgl. WBGU 1996).

Zur Bestimmung des Symptoms wurde sowohl die Höhe der Produktion, als auch deren Veränderung von 1990 - 1995, berücksichtigt. Insbesondere ist das Symptom dann als relevant für das RAUBBAU-SYNDROM zu betrachten, wenn entweder eine starke relative Zunahme der Produktion (linguistische Variable: „signifikanter Produktionstrend“,  $PT_s$ ) zu beobachten ist oder aber eine nicht zu stark rückläufige Produktion („hoher Produktionstrend“,  $PT_h$ ) auf einem sehr hohem Niveau („hohe Produktion“,  $P$ ; Abbildung 19).

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Übernutzung} &= \mu((PT_h \wedge P) \vee PT_s) && \text{Gleichung 5} \\ &= \max \left( \left( \gamma_1 \cdot \min \left\{ \mu_{hoch}^{Prod.Trend}, \mu_{hoch}^{Produktion} \right\} + \{1 - \gamma_1\} \cdot \frac{\mu_{hoch}^{Prod.Trend} + \mu_{hoch}^{Produktion}}{2} \right), \mu_{signifikant}^{Prod.Trend} \right) \\ &\text{für } \gamma_1 = 0.5 \end{aligned}$$

Diese Charakterisierung wurde durch eine Fuzzy-UND Verschneidung ( $\gamma$ -Operator) und eine Fuzzy-ODER Verschneidung (Maximumoperator; Gleichung 5), auf der Basis der FAO-Statistiken, zu einem Gesamtindikator für diese ökonomische Komponente der Syndromintensität, erzeugt. Die wenigen Parameter, die in der Verschneidung benötigt werden, wurden so gewählt, dass einige Regionen, in denen bekanntermaßen eine „Übernutzung“ vorliegt, entsprechend indiziert werden (Abbildung 19). Diese Form der Kalibrierung hat den Vorteil, dass nicht auf reduktionistische Konzepte einer nachhaltigen Nutzung zurückgegriffen werden muss in deren Rahmen a priori fixe Schwellwerte für jeden eingehenden Indikator bestimmt werden müssten. Das Resultat ist in Abbildung 20 dargestellt. Neben den „klassischen“ Entwaldungsländern Brasilien, Indonesien oder auch Kanada, sind insbesondere China, Indien und Nigeria als stark von dem Symptom betroffen indiziert. Dies ist insbesondere auf den hohen Brennholzanteil an der Energiegewinnung dieser Länder zurückzuführen. So betrug etwa die Brennholzproduktion in China 1990 etwa 70 % des Gesamteinschlags, wobei hier jedoch ab 1995 vermutlich ein Rückgang des Brennholzanteils auf Grund des starken Wirtschaftswachstums in China, zu erwarten ist. Inwiefern sich dies jedoch auf die absoluten Zahlen überträgt, bleibt abzuwarten.

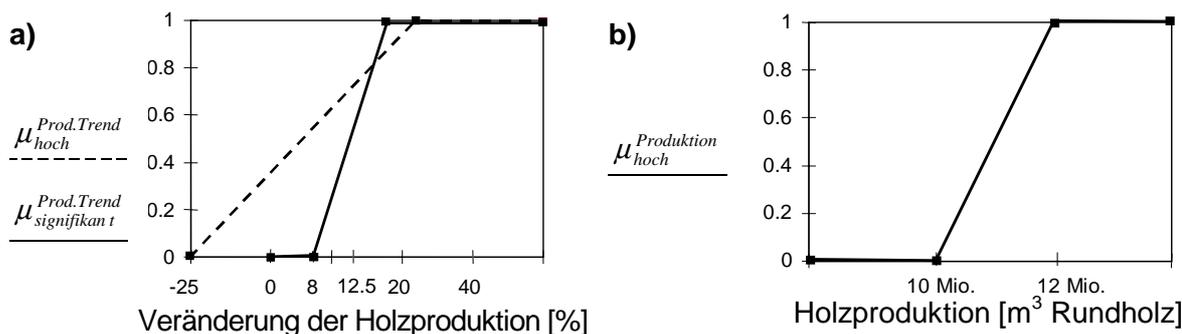


Abbildung 19: Fuzzyfizierung von Variablen im Rahmen der Bestimmung der Übernutzung biologischer Ressourcen im RAUBBAU-SYNDROM.

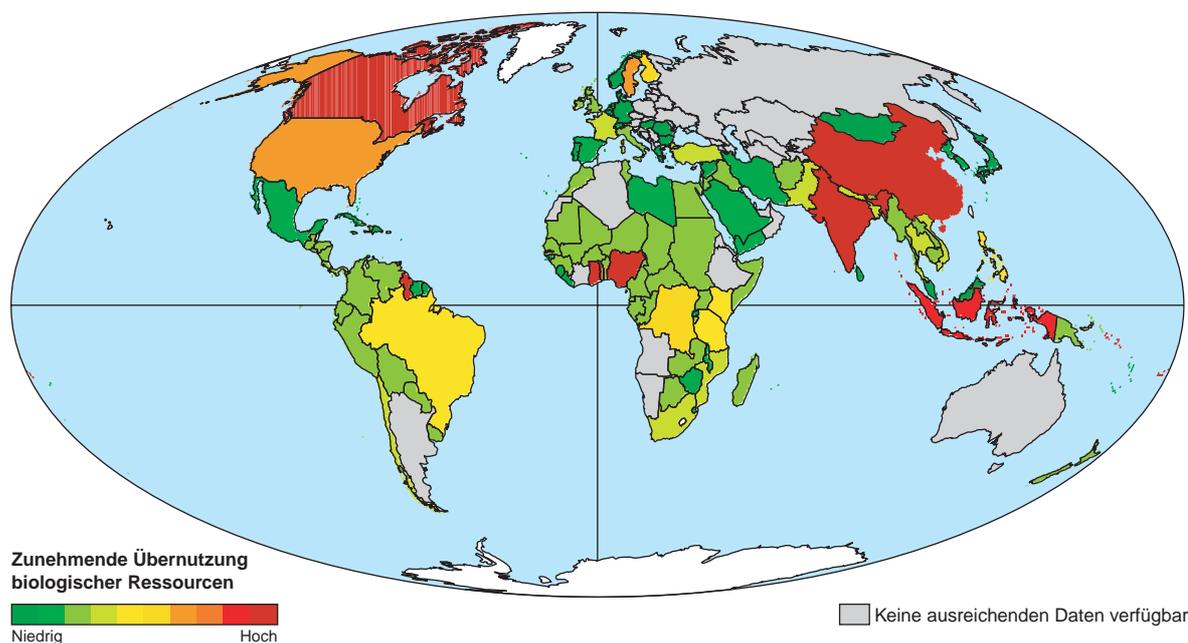


Abbildung 20: Globale Verteilung des Symptoms Übernutzung biologischer Ressourcen.

### Messung des Politikversagens

Politikversagen betrifft in diesem Kontext sowohl die Unfähigkeit des Staates vorhandene regulative Maßnahmen im Hinblick auf den Schutz von Wäldern durchzuführen, als auch die Unwilligkeit sie zu beschließen. Letzteres lässt sich an den tatsächlichen forstwirtschaftlichen Institutionen bemessen, die während des Analysezeitraums (1990 - 1995) in Kraft waren. Die Unterscheidung, ob es sich nur um Aktionspläne oder ähnliches handelt, oder um bindende Gesetze, orientiert sich an den Angaben im FAO-Waldbericht 1999, in dem länderspezifische Angaben über forstwirtschaftliche Institutionen („Forest Actionplan“ Indikator - FAI; Abbildung 21c) enthalten sind. Im Falle eines Aktionsplanes stellt sich die Frage, inwieweit die politisch-ökonomische Konstellation des Landes eine Umsetzung desselben erwarten lässt. Diese Umsetzung kann zumindest durch zwei Mechanismen effektiv unterbunden werden: Lobbyismus (auch und gerade im Rahmen demokratischer Systeme) und Korruption. Letzteres wurde mit Hilfe des Korruptionsindex von „Transparency International“ (1998) sowohl hinsichtlich seiner Stärke im Analysezeitraum („hohe Korruption“; Abbildung 21a), als auch hin-

sichtlich seiner Veränderung („hoher Korruptionstrend“; Abbildung 21b) belegt, wobei eine leichte Verbesserung des Korruptionsindex als nicht ausreichend für eine Reduzierung des Drucks auf die Waldressource angesehen wird. Der Index misst für derzeit fast 100 Länder den Grad der Korruption in der staatlichen Bürokratie aus Sicht von Wirtschaft und Gesellschaft. Grundlage dafür sind bis zu 12 verschiedene Quellen, in denen unabhängig voneinander einzelne Länder bewertet wurden (z. B. der *World Competitiveness Report* oder *Political Risk Service*). Zur Bestimmung der sich hieraus ergebenden Komponente des *Politikversagens* wurde darüber hinaus berücksichtigt, dass legal bindende Waldschutzprogramme schwerer zu umgehen sind als unverbindliche Absichtserklärungen zu Umwelt- und Naturschutz. Diese Verschneidung zu einer Trendaussage für „hohe politische Anfälligkeit für Korruption“ kann durch einen asymmetrisch gewichteten  $\gamma$ -Operator (Gleichung 6) modelliert werden.

$$\mu_{\text{hoch}}^{\text{polit. Anfälligkeit}} = \left\{ 1 - (1 - \mu_1)^{\delta_1} \cdot (1 - \mu_2)^{\delta_2} \right\}^{\gamma} \cdot \left\{ \mu_1^{\delta_1} \cdot \mu_2^{\delta_2} \right\}^{(1-\gamma)} \quad \text{Gleichung 6}$$

mit,  $\mu_1 = \mu_{\text{hoch}}^{\text{Korruption}}$ ;  $\mu_2 = \mu_{\text{hoch}}^{\text{Korr. Trend}}$ ;  $\gamma_1 = 0.4$ ;  $\gamma_2 = 0.2$

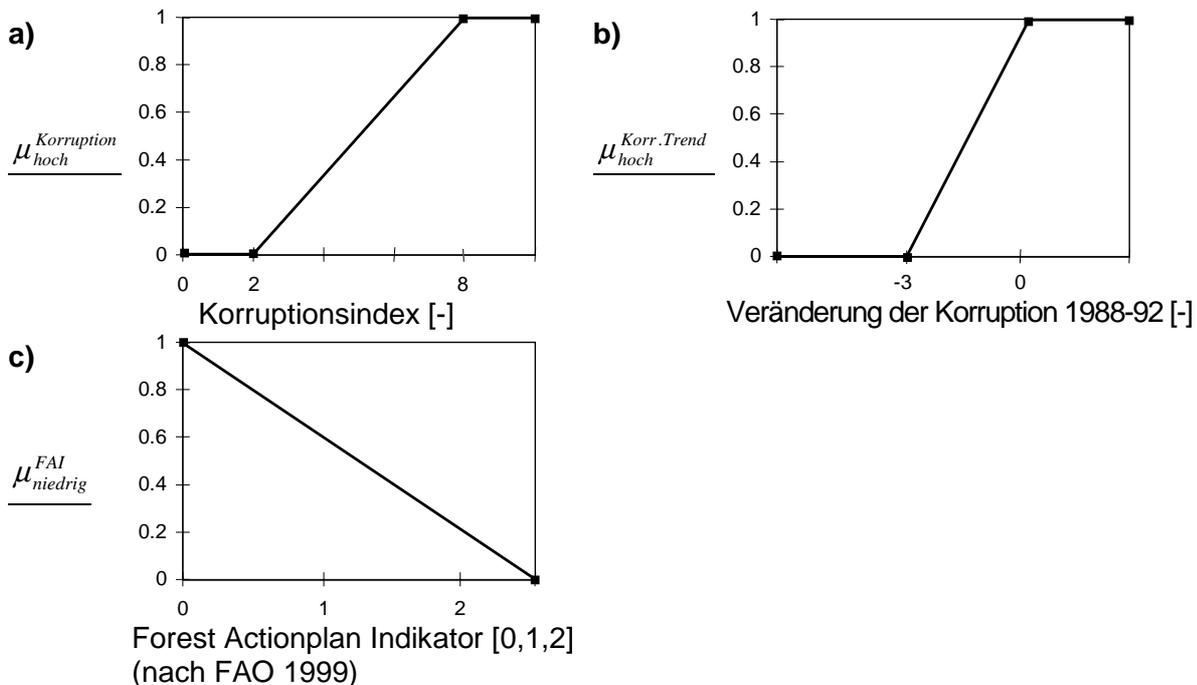


Abbildung 21: Fuzzyifizierung von Variablen im Rahmen der Bestimmung der *Übernutzung biologischer Ressourcen* im RAUBBAU-SYNDROM.

Das Maß für ein „hohes Politikversagen“ wird mit einem Lukasiewicz-UND Operator (Gleichung 7) mit dem fuzzyfizierten *Forest Actionplan*-Indikator zum Indikator für das *Politikversagen* im Hinblick auf den Schutz von Waldressourcen im Analysezeitraum 1990 bis 1995 verschnitten.

$$\mu_{\text{hoch}}^{\text{Politikversagen}} = \mu(\text{polit. Anfälligkeit} \wedge \text{FAI}) = \max\{0, \mu_{\text{hoch}}^{\text{polit. Anfälligkeit}} + \mu_{\text{niedrig}}^{\text{FAI}} - 1\} \quad \text{Gleichung 7}$$

Das Resultat ist in Abbildung 22 dargestellt. Vor allem in den Tropenländern, insbesondere in den klassischen Entwaldungsländern Brasilien, Indonesien, Malaysia oder der Demokratischen Republik Kongo, ist ein hohes *Politikversagen* zu erkennen. Dagegen ist im

Norden der Trend deutlich schwächer ausgeprägt. Ausnahmen bilden hier etwa Kanada oder Schweden, wo Lobbyismus ein Umsetzen von Waldschutzmaßnahmen lange Zeit verhindert hat, bzw. teilweise noch verhindert. Im Süden sind nur wenige Ausnahmen, wie etwa Südafrika und Thailand, von dem generell als hoch zu bezeichnenden *Politikversagen* zu erkennen.

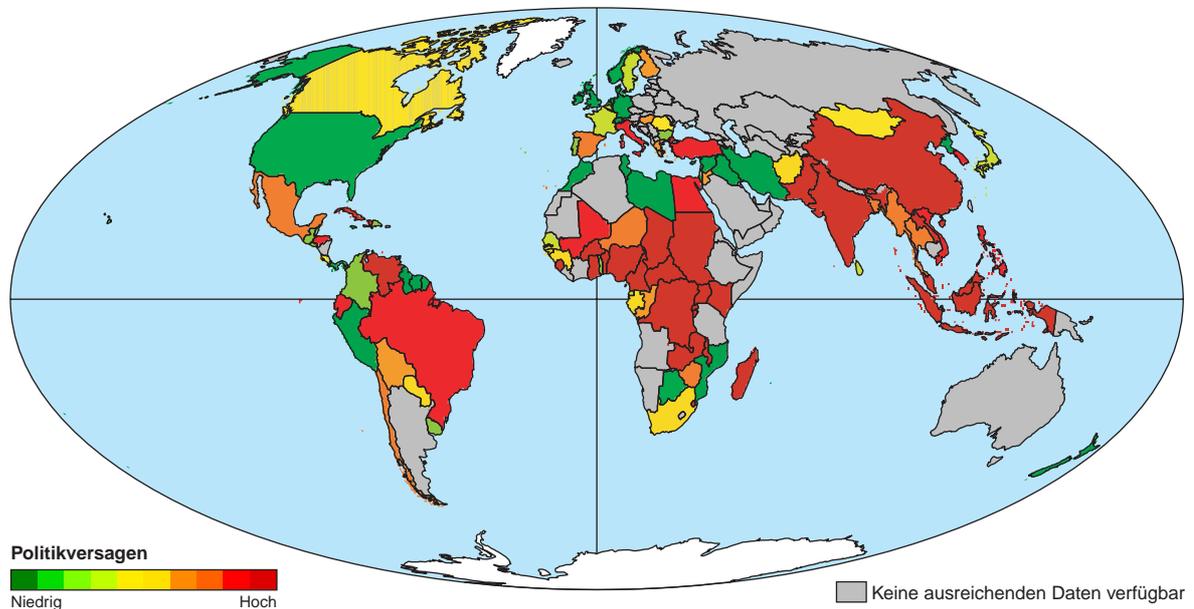


Abbildung 22: Indikator für *Politikversagen* im Hinblick auf den Schutz Waldressourcen.

### Die kombinierte Intensität

Die beiden Teilindikatoren, „hohe Übernutzung“ und „hohes Politikversagen“, werden schließlich mit Hilfe einer fuzzy-logischen UND-Verknüpfung (Minimumsoperator, Gleichung 8) zu einem Gesamtindikator, „hohe Intensität“ des RAUBBAU-SYNDROMS kombiniert. Dieser so erzeugte „Intensitäts-Indikator“ (Abbildung 23), stellt somit neben dem „Typ-Indikator“ (Abbildung 18) die zweite Komponente der Intensitätsmessung dar.

$$\mu_{hoch}^{Intensität} = \mu(\text{Übernutzung} \wedge \text{Politikversagen}) = \min\left\{\mu_{hoch}^{Übernutzung}, \mu_{hoch}^{Politikversagen}\right\} \quad \text{Gleichung 8}$$

#### 5.1.4.3 Diskussion des Intensitätsmusters

Abbildung 23 zeigt sehr hohe Intensitätswerte in Indien, China und Nigeria. Dies weist auf eine starke brennholznutzungsbedingte Komponente hin. Die Nutzung biologischer Ressourcen in den Sekundärwäldern dieser Ländern zeigt, dass in der Diskussion über globale Waldressourcen das Problem der Sekundärwälder nicht vernachlässigt werden darf. Neben diesen Regionen tritt das RAUBBAU-SYNDROM insbesondere in Indonesien, Brasilien, Finnland, Kanada, der Demokratischen Republik Kongo und in einigen weiteren Ländern auf. Für diese Regionen ist zu bedenken, dass die starke Bedeutung des Forstsektors im Allgemeinen und in Kombination mit Korruption (im Süden) im besonderen, ein Problem für den Erhalt der Waldökosysteme darstellt. Solange keine ausreichenden alternativen volkswirtschaftlichen Einkommensmöglichkeiten geschaffen werden, ist kaum eine Trendwende zu

erwarten. Diese Regionen (Amazonien, das Guyana-Schild, Indonesien sowie das Kongo-becken) sind Brennpunkte des Auftretens des RAUBBAU-SYNDROMS durch die Vernichtung der tropischen Primärwälder. Der tropische Primärwald stellt hier neben seiner Funktion als CO<sub>2</sub>-Senke vor allem durch seine hohe biologische Diversität ein besonders schützenswertes Ökosystem dar. Die tropischen Regenwälder, die nur etwa 7 % der Landoberfläche ausmachen, beherbergen nach Schätzungen etwa die Hälfte aller bekannten Pflanzen- und Tierarten. Andere Waldtypen, wie Trockenwälder oder die Wälder der gemäßigten Zone, besitzen Habitatfunktionen für Pflanzen und Tiere von aktuell oder potentiell hohem ökonomischen Wert, die nicht nur für das Funktionieren dieser Ökosysteme unabdingbar sind (FAO 1997), sondern teilweise auch eine hohe kulturelle Bedeutung aufweisen, wie z. B. die Peote Pilze für die indigenen Völker Mexikos. Für Kanada wird eine mittlere Intensität angegeben. Relativ schwach ausgeprägt ist das Syndrom dagegen in den USA, weiten Teilen Europas und Nordafrikas. In den USA liegt zwar eine Übernutzung vor (Abbildung 20), allerdings wird das Politikversagen als niedrig eingestuft (Abbildung 22) was sich in einer niedrigen bis mittleren Intensität niederschlägt. Für Europa sorgt insbesondere die gut organisierte Forstwirtschaft für eine niedrige Intensität, d .h. ökologische Interessen obsiegen hier teilweise über ökonomische. Dagegen ist in den Regionen Afrikas, insbesondere in Westafrika südlich der Sahara, der Anteil des RAUBBAU-SYNDROMS an der Entwaldung als eher gering einzuschätzen. Eine literaturbasierte (FAO 1999, WRI 1997) Einschätzung der Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS in den auf Grund von Datenlücken nicht indizierbaren Regionen Sibiriens deutet darauf hin, dass das Syndrom mit seinen Folgen dort derzeit stark aktiv ist. In Sibirien werden die borealen Nadelwälder geringer Regenerationsfähigkeit mit Hilfe moderner Harvestertechnik durch Kahlschlag großflächig vernichtet.

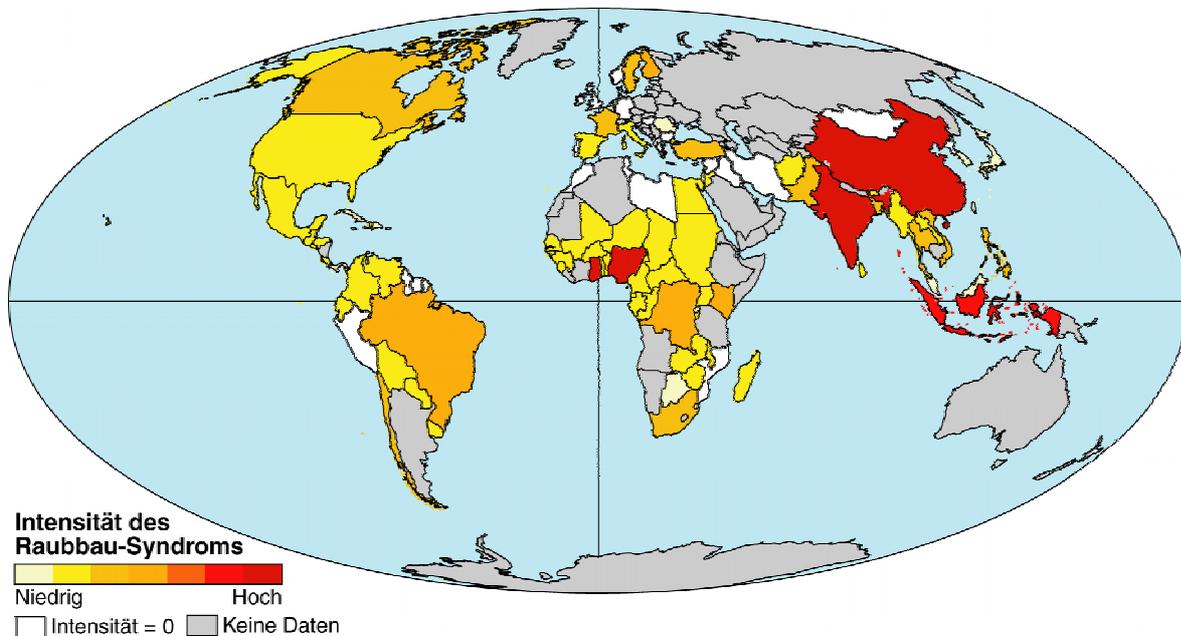


Abbildung 23: Intensität des RAUBBAU-SYNDROMS. Für die Spezifikation des Syndromtyps vergleiche Abbildung 18.

## 5.2 Landwirtschaftliche Übernutzung marginaler Standorte - Das SAHEL-SYNDROM

### 5.2.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms

Als SAHEL-SYNDROM wird der Ursachen-Wirkungskomplex von Degradationserscheinungen, hervorgerufenen durch verarmte oder marginalisierte Landbevölkerung, bezeichnet, die bei Überschreitung der ökologischen Tragfähigkeit in Regionen (marginale Standorte) auftreten, wo die natürlichen Umweltbedingungen (Klima, Boden) nur begrenzte landwirtschaftliche Nutzungsaktivitäten zulassen (WBGU 1994, 1996; Cassel-Gintz et al. 1997; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999).

### 5.2.2 Der Mechanismus des SAHEL-SYNDROMS

Das SAHEL-SYNDROM zeichnet sich durch sein frühes Auftreten in der menschlichen Entwicklungsgeschichte aus. Es tritt typischerweise in subsistenzwirtschaftlich geprägten Regionen auf. Ländliche Armutgruppen und von Ausgrenzung bedrohte Bevölkerungsschichten übernutzen die zur Verfügung stehenden Agrarflächen (z. B. durch *Überweidung*, *Ausweitung von Landwirtschaft* auf ökologisch empfindliche Gebiete, *Intensivierung der Bodenbearbeitungsmethoden*, etc.). Der Komplex von Umweltdegradationserscheinungen in marginalen Räumen, hervorgerufen durch das Überschreiten der ökologischen Tragfähigkeit in Folge von unangepassten Nutzungsweisen verarmter, oder marginalisierter Bevölkerungsgruppen, tritt vor allem verstärkt im durch Nomadismus geprägten Altweltlichen Trockengürtel auf (Scholz 1995; Krings 1993). Äußere Einflüsse, wie z. B. die Änderung des Wertesystems im Zuge der Europäischen Kolonialisierung, oder die Grenzziehungen in der Nachkolonialen Phase, führen zu einer Marginalisierung der ursprünglich gut an ihre äußeren Bedingungen angepassten Hirtenvölker, die zu standörtlich unangepassten Nutzungsweisen gezwungen wurden und damit letztlich auch zum „*Niedergang der sozio-ökologischen Kulturweise Nomadismus*“ (Scholz 1999). Dieser Ursache-Wirkungskomplex ist Teil der als SAHEL-SYNDROM bezeichneten Armut-Degradationsspirale. Das Ziel der ökonomisch und politisch marginalisierte Bevölkerungsgruppen, die oft in absoluter Armut leben oder besonders von ihr bedroht sind (z. B. Nomaden, Kleinbauern, Landlose, Frauen, ethnische Minoritäten) ist die Verbesserung oder wenigstens der Erhalt ihrer Lebensbedingungen (Johnson & Lewis 1995). Die Intention dieser Akteure mit einem verengten Handlungsspielraum, Optionen-Set oder Zeithorizont erzeugt unter den marginalen Bedingungen aber gerade das Gegenteil. Die im Rahmen dieses Teufelskreises auftretende Verschlechterung der Lage kann insgesamt als ein Komplex nicht-intendierter Folgen intentionalen Handelns aufgefasst werden. Auf der Mikroebene der Akteure (Individuen, Familien, Dörfer, etc.) wird im Kontext der Situation rational gehandelt, auf der Makroebene der sich addierenden und wechselseitig verstärkenden Trends sind Verschlechterungen der Rahmenbedingungen zukünftigen Handelns die Folge. Ohne ökonomische Alternativen oder produktives Land sind verarmte Landbewohner gezwungen, auf der Suche nach einer

Ernährungsgrundlage und Brennholz auf marginales Land auszuweichen oder in Städte abzuwandern (WRI 1992).

### 5.2.2.1 Der Syndromkern

Zentrales Element des Kerns des SAHEL-SYNDROM-Beziehungsgeflechts (Abbildung 24) ist die selbstverstärkende Verknüpfung von *Zunahme nationaler und internationaler Disparitäten*, *Bevölkerungswachstum*, *Verarmung*, *Intensivierung* bzw. *Ausweitung der Landwirtschaft* und zunehmender Bodendegradation (*Fertilitätsverlust*, *Erosion*). In der Literatur zum GW wird vor allem der Zusammenhang zwischen Armut (bzw. Verarmung), Bevölkerungswachstum, Übernutzung von natürlichen Ressourcen, Umweltdegradation und weiterer Verschlechterung der ökonomischen und sozialen Lage hervorgehoben (Durning 1992; Bächler 1994). Die Interaktion der Symptome führt zu einer wechselseitigen, sich selbstverstärkenden, negativen Beeinträchtigung von Umwelt- und Lebensbedingungen.

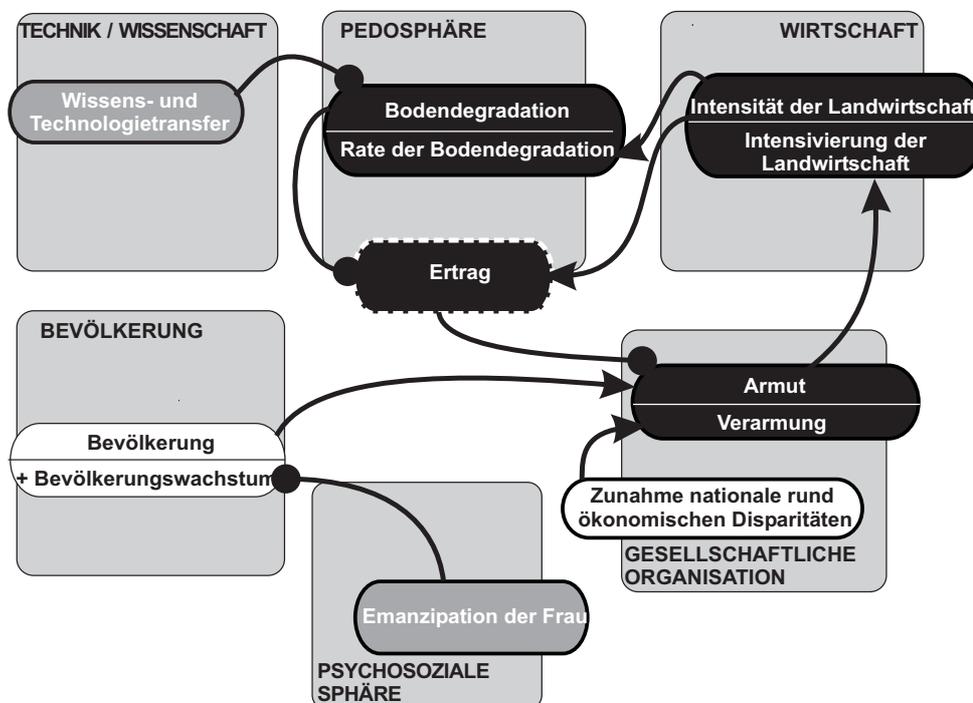


Abbildung 24: Kernmechanismus des SAHEL-SYNDROMS (Armut-Degradations-Spirale) mit wichtigen Antriebs- (weiß unterlegt) und Abschwächungskräften (grau unterlegt). Darstellungen des erweiterten syndromspezifischen Beziehungsgeflecht sind in WBGU (1996), Schellhuber et al. (1997) und Petschel-Held et al. (1999) gegeben.

Im Syndrommechanismus wird unter *Verarmung* sowohl der Zustand der Armut selbst, als auch der Prozess einer weiteren Verarmung verstanden. Die materiellen und immateriellen Entbehrungen, die von diesem gewöhnlich ausgehen, motiviert Menschen ihre Lebenslage zu verbessern, was in bestimmten Kontexten jedoch nicht-intendierte Folgen haben kann, die syndromverstärkend wirken und damit auch die Lage der Betroffenen langfristig verschlechtern. Der zunehmende Druck auf die natürlichen Ressourcen führt entweder zur Abwanderung aus armen bzw. verarmten Regionen, oder zur *Intensivierung der landwirtschaftlichen Produktion* bzw. zu Flächenausweitungen.

Historisch betrachtet war die Flächenausweitung die dominante Strategie der Ertragssteigerung, was sich aber unter dem Gesichtspunkt, dass bereits nahezu alle Gunstandorte landwirtschaftlich genutzt werden und eine Ausweitung fast nur noch auf marginale Regionen möglich ist (Cassel-Gintz et al. 1997), zukünftig ändern wird. Experten und internationale Organisationen, wie z. B. die FAO, gehen von einer weiteren *Intensivierung der landwirtschaftlichen Aktivitäten* und einer Erhöhung der Produktionsintensität (Arbeit, Kapital, „know-how“) aus, um die Erträge weiter zu erhöhen (Schug et al. 1996). Formen der *Intensivierung* im Rahmen traditioneller und wenig kapitalintensiver Landwirtschaft stellen die Verkürzung von Brachezeiten, also eine Beschleunigung des Produktionszyklus, oder die Erhöhung des Arbeitskräfteeinsatzes, entweder durch die Verlängerung des Arbeitstages oder durch die Erhöhung der Arbeitskräftezahl pro Fläche, dar. Auch bei wenig kapitalintensiver Landwirtschaft ist es möglich, mit relativ kleinen Schritten bei der Verstärkung des Dünger- bzw. des Technikeinsatzes, z. B. durch Übergang vom Grabstock zum Ochsenpflug, zu einer signifikanten relativen Intensivierung zu kommen. In der Viehwirtschaft stellt die Erhöhung der Besatzdichte eine gängige Form der Intensivierung dar. Ziel der Akteure die Erhöhung von landwirtschaftlichen Erträgen. Im Falle der *Ausweitung der Landwirtschaft* wird dieses Ziel durch die Vergrößerung der Anbaufläche angestrebt. Dabei wird bisher nicht landwirtschaftlich genutzte Fläche in den Produktionsvorgang einbezogen, um die schlechte oder sich weiter verschlechternde Versorgungslage zu verbessern. In ariden und semi-ariden Regionen wird dabei der Ackerbau auf Gebiete ausgedehnt, die für den Regenfeldbau ungünstig sind und oftmals traditionellerweise von nomadischen Viehzüchtern genutzt werden. Dadurch entstehen Nutzungskonflikte um knappe Ressourcen (Bächler 1994; Mohamed Salih 1992; Moorehead 1992). Die Ackerbau- und Dauerkulturflächen in den Sahel-Ländern Äthiopien, Burkina Faso, Mali, Mauretanien, Niger, Senegal, Sudan und Tschad haben zwischen 1973 und 1988 um insgesamt 9 925 ha oder 25 % zugenommen (Krings 1993), während die Waldflächen im gleiche Zeitraum abnahmen. In humiden und semi-humiden Regionen kommt es hauptsächlich zu Rodungen von Wäldern für Anbauzwecke. Auch in dieser Variante können Konflikte mit traditionellen Nutzergruppen der Wälder (Jäger, Sammlern, Wanderfeldbauern, etc.) die Folge sein. Die Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche auf erosionsgefährdete Hanglagen ist in beiden klimatischen Varianten möglich und stellt z. B. in der Dominikanischen Republik (Hellstern 1993) und in Nepal (de Boer 1989) ein großes Problem dar.

Je nach naturräumlichen Gegebenheiten (Aufwand der Erweiterung angesichts von Lage, Flächenprofil etc.), nach sozioökonomischen (z. B. Besitzverhältnisse) oder politischen (z. B. Grenzen) Verhältnissen sowie nach Kapitalausstattung und Motivation der Akteure wird eher die Intensivierungs- oder eher die Ausweitungsoption gewählt, wobei auch Kombinationen auftreten. Die Anfälligkeit des landwirtschaftlichen Produktionssystems und der von ihm abhängigen Menschen für anthropogene Degradationen sowie für Naturkatastrophen nimmt damit zu. Hierbei kommt es oft zu einer Situation, die seit Hardin (1968) als „*Allmende-klemme*“ (*Tragedy of the Commons*) bekannt ist und als „übermäßige Nutzung gemeinsamen Eigentums zum privaten Vorteil“ (Leisinger & Schmitt 1992: 71) umschrieben werden kann. Weiden Herden als Familienbesitz und Haupteinkommensquelle auf gemeinschaftlich ge-

nutzten Gebieten, dann erscheint die Vergrößerung der Herden individuell sinnvoll. Da die Gesamtheit dieser sich nur am individuellen Horizont orientierenden Entscheidungen angesichts knapper Weideflächen, vor allem unter Verlust traditioneller Nutzungsbeschränkungen (Hartje 1993, Lenz 1994), aber zur Übernutzung und damit zur Bedrohung der Herden führt, steigern sie die Unsicherheit für alle. Um sich vor dieser selbstinduzierten Unsicherheit zu schützen, gehen die Familien zur weiteren Aufstockung ihrer Herden über und vergrößern damit weiter die kollektive Unsicherheit (Sinn 1988). Zwar könnten alle zusammen die Überweidung verhindern, aber im Rahmen seiner beschränkten Handlungs- und Kommunikationsmöglichkeiten verhält sich der individuelle Viehhirte „rational“. *Ausweitung / Intensivierung* führt zu *Erosion* und *Fertilitätsverlust*, und letztere wieder, auf Grund der Situation der Allmendeklemme, zu ersterem. Allerdings muss hier zwischen freien Gütern, ohne definierte Eigentumsrechte und mit völlig freiem Zugang, sowie verschiedenen Formen des Gemeineigentums unterschieden werden, für welche sehr wohl Zugangsbeschränkungen und Sanktionsmechanismen bei illegitimer oder Übernutzung existieren. Das für das SAHEL-SYNDROM typische Problem besteht in solchen Gebieten meist nicht darin, dass freies Land durch Private übernutzt wird, sondern dass die traditionellen Regulierungsmechanismen unter Druck geraten und zusammenbrechen. Die beiden Haupttriebkkräfte dabei sind die Modernisierung, die zu einem Prozess der Normerosion führt, sowie die Politik der Nationalstaaten, die den Gruppen vor Ort sukzessive die Kontrolle über ihre Ressourcen zu entziehen sucht, ohne funktionale Äquivalente für die traditionellen Formen der Nutzungsbeschränkung bereitstellen zu können (Kirk 1994). Dies geschieht z. B. durch die Unterstellung von Waldgebieten unter zentralstaatliche Kontrolle, die erzwungene Sesshaftmachung von Nomaden oder die Beschränkung ihrer traditionellen Nutzungsgebiete. In diesen Fällen ist die *Tragedy of the Commons*, ein Kernstück des SAHEL-SYNDROM Teufelskreises, ein *Produkt* staatlicher Politik. In Anlehnung an eine neuere Publikation Hardins (1994) kann man hier von der Tragödie falsch oder nicht gemanagter „*Commons*“ sprechen.

Die *Zunahme nationaler Disparitäten*, also die wachsende Diskrepanz zwischen der sozioökonomischen und politischen Lage verschiedener Bevölkerungsgruppen, spielt als ein weiteres Kernsymptom eine wichtige Rolle. Während *Armut / Verarmung* auf eine absolute Dimension menschlichen Lebens und Handelns zielt, wird hier die relative Lage von Menschen zueinander verstanden. Das wachsende Machtgefälle, dass über die Zugänglichkeit von Ressourcen entscheidet, übt einen zusätzlichen Druck auf arme bzw. ärmere Gruppierungen aus. Wirtschaftliche oder politische Macht entscheidet im Allgemeinen auch über leichteren Zugang zu besseren Umweltkompartimenten und -funktionen. Sauberes Wasser, gute Böden, intakte Umwelten etc. stehen in aller Regel eher den Bessergestellten als den Schlechtergestellten zur Verfügung. Im Falle einer Ressourcenverknappung, z. B. bei zunehmenden Bevölkerungsdruck, oder Wachsenden Ansprüchen, setzt ein Verdrängungswettbewerb ein, den die machtloseren Gruppierungen tendenziell verlieren. Sie werden auf schlechtere Flächen abgedrängt, müssen mit schlechterem oder weniger Wasser vorlieb nehmen, müssen mit höheren Umweltbelastungen leben etc. Daher führt eine *Zunahme nationaler ökonomischer und politischer Disparitäten* auch unabhängig vom Übernutzungsdruck der *Armut* zu einer *Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche* bzw. zu einer *Erhöhung*

*der Intensität landwirtschaftlicher Produktion.* Innerhalb des Syndromkerns (Abbildung 24) wird die Disparitätenzunahme durch den Trend der Verarmung angetrieben: Je mehr zusätzliche Arme es gibt, desto größer wird meist die „Schere“ zwischen arm und reich, desto disparater auch die soziopolitische Struktur eines Landes. Durch die Berücksichtigung beider Trends kann man einer Forderung der entwicklungspolitischen Armutsforschung nachkommen, die auf die Bedeutung der relativen Position armer Schichten im Macht- und Tauschgefüge einer Gesellschaft abstellt (Sen 1981).

Die Zunahme der Kinderzahl stellt eine weitere Handlungsoption armer bzw. verarmender Bevölkerungsgruppen dar, die zu einem verstärkten *Bevölkerungswachstum* führt. Mehr Kinder zu haben bedeutet in diesen Fällen zum einen mehr aktuelle Arbeitskraft für den Anbau, Brennholzsammeln oder Wasserbeschaffung, zum anderen eine Absicherung gegen die Risiken von Krankheit und Alter. Eine größere Familie erweist sich als anpassungs- und überlebensfähiger als eine kleine oder gar als ein einzelnes Individuum (Dasgupta 1995). In der Gesamtsicht erhöht allerdings das Wachstum der Bevölkerung den Nutzungsdruck auf natürlichen Ressourcen. Das *Bevölkerungswachstum* kann nicht als exogene Größe in den relevanten Veränderungsprozessen betrachtet werden. Medizinische und hygienische Fortschritte haben dieses Wachstum in den letzten Jahrzehnten deutlich ansteigen lassen. Die Geburtenraten haben sich, folgt man dem Theorem des demographischen Übergangs, dem Rückgang der Mortalitätsraten aus verschiedenen Gründen noch nicht angepasst. Insbesondere die untergeordnete soziale Stellung der Frauen und ihr mangelndes Mitspracherecht bei der Familienplanung verzögert diesen Übergang. Dem entsprechend wirkt weltweit feststellbare verstärkte *Emanzipation der Frau* (Randzio-Plath & Mangold-Wegner 1995) abschwächend auf das *Bevölkerungswachstum*.

Die *Intensivierung und Ausweitung der Landwirtschaft* führen, ohne hinreichende Vorsorgemaßnahme, wie z. B. Erosionsschutz, Einhaltung von Brachezeiten oder angepasste Fruchtfolge, zu einer *verstärkten Erosion* der Böden. Angesichts der Lage und der Kapitalausstattung der syndrom-typischen Akteure können diese Vorsorgemaßnahmen meist nicht oder nur kaum ergriffen werden. Die Verkürzung von Brachezeiten etwa reduziert die Regeneration der Böden und erhöht die Rate des Bodenabtrags durch Wind- oder Wassererosion. Dadurch kommt es wiederum zu einer mehr oder weniger schnell eintretenden Verschlechterung der landwirtschaftlichen Erträge. Die anthropogene *Zunahme der Erosionsrate* bedingt eine weitere *Verarmung* bzw. die Fortdauer von Armut. Damit hat sich der syndromtypische Teufelskreis geschlossen und der Übernutzungsdruck nimmt weiter zu.

Als syndromabschwächende Elemente wirken die *Emanzipation der Frau* und die Einführung bodenschonender Bewirtschaftungsformen durch *Wissens- und Technologietransfer*. Die *Emanzipation der Frau* beschreibt Veränderungen der Geschlechterverhältnisse, die zu einer verbesserten wirtschaftlichen, sozialen und politischen Stellung der Frau führen. Neben einer generellen Entlastung von Reproduktionsaufgaben, nach Schätzungen zufolge sind Frauen in Afrika für 75 % der Nahrungsversorgung zuständig (Awumbila & Momsen 1995), führt die damit einhergehende höhere Entscheidungsbefugnis über die Kinderzahl zu einer Verringerung des Bevölkerungswachstums. Die Einführung bodenschonender Bewirtschaftungsformen umfasst neben agrartechnischen Aspekten, wie Agroforstwirtschaft, Legumino-

senanbau oder Erosionsschutzmaßnahmen, auch ökonomische, wie verbesserte Kredit-chancen für Kleinbauern, sowie politische Maßnahmen, wie eine verbesserte Bildungspolitik für Bauern. Der *Wissens- und Technologietransfer* schwächt bodenzerstörenden Wirkungen landwirtschaftlicher Produktionsveränderungen ab. Hier sind bereits erste positive Erfahrungen gesammelt worden (Leisinger & Schmitt 1992), die oft an traditionelle Bewirtschaftungsformen anschließen können (IFAD 1992).

### 5.2.3 Bedeutung des Syndroms für die globale Entwaldungsproblematik

Die Waldkonversion an marginalen Standorten mit nachfolgender Subsistenznutzung stellt den überwiegenden Beitrag des Syndroms zur Entwaldung dar. So ist z. B. die in Afrika vorherrschende Transformation geschlossener Waldflächen über Zwischenstadien der Nutzung zu Gebüsch und Brache vor allem der Ausweitung von Subsistenzlandwirtschaft unter ländlichem Armuts- und Bevölkerungsdruck geschuldet (FAO 1997). Dieser in geringerer Stärke auch in Asien und Lateinamerika auftretende Mechanismus kann als Ausdruck des SAHEL-SYNDROMS identifiziert werden (WBGU 1996, 1988; Schellnhuber et al. 1997; Petschel-Held et al. 1999).

In humiden und semi-humiden Regionen stellt vor allem die Konversion von Wäldern in Folge von Rotationsfeldbau mit Brandrodung durch Kleinbauern oder armen Neusiedlern die dominante Entwaldungsform dar. Nach Expertenschätzung ist sie für 20 - 60% der weltweiten Regenwaldzerstörung verantwortlich (Furley 1994; Herkendell & Pretzsch 1995). Die Erschließung neuer landwirtschaftlicher Nutzfläche führt direkt über die Flächenkonversion, sowie indirekt über die Degradierung der verbleibenden Wälder in der Kontaktzone, zur Entwaldung und Waldschädigung. Diese *Ökosystemkonversionen* hat über die *Veränderung des Oberflächenabflusses* Auswirkungen auf die Hydrologie und über eine Zunahme der Niederschläge mit folgender *Verstärkung von Bodenerosion* auf die Pedosphäre. Beim Verbrennen und Verrotten des ungenutzten Holzes werden über die *Verstärkung biosphärischer Quellen* große Mengen an CO<sub>2</sub> frei, wodurch über einen *verstärkten Treibhauseffekt* zur *regionalen und globalen Klimaveränderung* beigetragen wird, was zu einer negativen Beeinflussung der lokalen Ernteerträge und einer weiteren *Süßwasserverknappung* führen kann. Die *Konversion von natürlichen Ökosystemen* bedeutet einen meist deutlichen Verlust an Biodiversität in Form von *Gen- und Artenverlusten*, die in den betroffenen tropischen Feuchtwäldern als besonders hoch eingeschätzt wird (Smith et al. 1995; Manshard & Mäckel 1995).

Im Falle des brasilianischen Amazonasgebiets lässt sich deutlich der syndromverschärfende Einfluss der einer unangepassten nationalen Politik erkennen. In den 60er Jahren wurde das Gebiet als Wachstumsregion, als neue „*frontera*“ der nationalen Expansion, gesehen und seine Inwertsetzung geplant. Straßen wurden gebaut, Konzessionen für Minen- und Forstwirtschaft erteilt, Staudämme gebaut und die Besiedlung durch staatliche Programme aktiv gefördert. Die *Ausweitung der landwirtschaftlichen Nutzfläche* ist hier auch eine direkte Folge staatlicher Planungsaktivitäten gewesen. Dabei waren es zum einen die „offiziell“ angesiedelten Kleinbauern, die, unter verschärftem ökonomischem Druck, meist über den Pfad der Intensivierung ihre Ressourcengrundlage übernutzt haben, zum anderen die „inoffiziell“ zu-

gewanderten, ehemals Landlosen, die die Nischen der Siedlungspolitik nutzen und meist entlang von neuen Straßen Wanderfeldbau betreiben. Die Zuwanderungsbilanz in diesem Zeitraum war für das Amazonasgebiet positiv (Smith et al. 1995). Rund 60 % aller ländlichen Kleinbewirtschafter sind ohne eigenes Land (Furley 1994). Für das gesamte Amazonasgebiet rechnet Fearnside (1993) ca. 30 % der Entwaldung kleinbäuerlichen Bewirtschaftungsformen zu. Auch in den Waldgebieten Borneos (Ostkalimantan) lässt sich der Syndrommechanismus aus Verarmung, Migration und Übernutzung feststellen. Auch hier wurden im Rahmen des Transmigrasi-Programms landlose und arme Kleinbauern, entlang der von der indonesischen Regierung geförderten Erschließungsinfrastruktur, angesiedelt (Potter et al. 1995). Die Dynamik des Kernmechanismus nimmt hier, bedingt durch die andere naturräumliche Situation, eine etwas andere Gestalt an. Das Niederbrennen und Kultivieren von Regenwald wirft in den ersten Jahren hohe Erträge ab. Bedingt durch die besonderen Bodeneigenschaften gehen die Erträge aber nach wenigen Jahren deutlich zurück (Douglas 1994). Ohne entsprechende bodenschonende Maßnahmen, wie z. B. Düngung, Mischbepflanzung oder Agroforstwirtschaft, sind die Akteure zur *Ausweitung* auf neue Flächen gezwungen, um ihre Erträge zu erhalten. Dieser Prozess wiederholt sich dann auch am neuen Standort und verengt den Zeithorizont und die Handlungsalternativen weiter. Der nach wenigen Jahren unangepasster Bewirtschaftung eintretende Fertilitätsverlust der Böden führt über Ertragseinbußen zu einer weiteren Verarmung, was ein Weiterziehen und neue Rodungen nach sich zieht (Schröder & Heuveldop 1995). In manchen Fällen folgt das Syndrom dabei dem RAUBBAU-SYNDROM (Kap. 5.1) und bereitet das DUST-BOWL-SYNDROM vor, das seinerseits wieder das SAHEL-SYNDROM verstärken kann (Neugebauer 1995).

Der zweite dominante Beitrag des Syndroms zur Entwaldungsproblematik in ariden bzw. semi-ariden Klima- und Vegetationszonen ist die durch *Armut* und *Bevölkerungswachstum* getriebene *Übernutzung der Vegetation* in Form von Brennholzeinschlag. Die Mehrzahl der Bevölkerung in diesen Regionen verfügt nicht über ausreichende Mittel, um den eigenen Energiebedarf, z. B. zum Kochen, durch den Kauf von Gas, Öl oder sonstigen importierte Energieträgern zu decken. Die lokal verfügbaren Busch- und Baumbestände werden infolgedessen übernutzt, was wiederum das Erosionsrisiko erhöht. Brennholz stellt für viele ländliche und städtische Haushalte mittlerweile eine knappe Ressource und einen beachtlichen Kostenfaktor dar.

#### 5.2.4 Disposition des SAHEL-SYNDROMS

Der Dispositionsraum wird durch die generellen natur- und sozialräumlichen Bedingungen unter denen die Interaktionen zwischen den Symptomen des Syndromkerns überhaupt auftreten können, beschrieben:

1. **Die naturräumliche Dimension der Disposition:** Die *Intensivierung* oder *Ausweitung der Landwirtschaft* führt, neben anfänglichen Ertragsteigerungen, mittel- bis langfristig zu Naturdegradationserscheinungen (*Bodenerosion / Fertilitätsverlust*), was letztlich in landwirtschaftlichem Produktivitätsrückgang und Ertragseinbußen resultiert. Hierbei ist die Intensivierung bei geringem Kapitalinput und die Ausweitung auf wenig produktive

Flächen zu betrachten. Damit die für das Syndromgeschehen notwendige Wirkung dieser Landnutzungsänderungen unter den genannten Bedingungen wahrscheinlich ist, muss es sich um eine naturräumlich marginale Region handeln.

2. **Die sozioökonomische Dimension der Disposition:** Der Produktivitäts- und Ernterückgang führt zur *Verarmung* der Bauern, die zur weiteren *Intensivierung* und *Ausweitung* ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten gezwungen sind, da ihnen keine Alternativen zur Existenzsicherung zur Verfügung stehen.

#### 5.2.4.1 Die Dispositionsfaktoren

Jede menschliche Aktivität, die Auswirkungen auf das natürliche Umgebungssystem haben soll, muss Teil dieses Systems. Sucht man nach landwirtschaftlich marginalen Standorten, dann ist es als erste Hypothese naheliegend, auf solche naturräumlichen Faktoren zu achten, die das Wachstum von nutzbaren Pflanzen, zum einen als direkte Nahrungs- oder Ressourcenquelle, aber auch zu Futterzwecken für Tiere, bestimmen bzw. begrenzen. Hierbei spielen vor allem die Klima- und Bodeneigenschaften als limitierende Faktoren eine entscheidende Rolle. Es besteht allerdings die generelle Möglichkeit, naturräumlich marginale Produktionsstandorte durch einen höheren Input an Arbeit, Kapital oder sonstigen Ressourcen zu verbessern. Limitierende Naturfaktoren können, in Grenzen und oft unter weiteren Nebenfolgen, kompensiert werden. Ein Beispiel ist die Kompensation einer Temperaturbegrenzung durch Gewächshäuser und Energiezufuhr. Je nach limitierendem Faktor können so Strategien der Kompensation gewählt werden, um eine natürliche Marginalität auszugleichen, wie z. B. Fertilitätsdefizite durch Düngung, Hangneigung durch Terrassierung, Aridität durch künstliche Bewässerung etc. In den für das SAHEL-SYNDROM typischen, wenig kapitalintensiven Bewirtschaftungsmethoden, soll nur eine Form der Kompensation natürlicher limitierender Faktoren berücksichtigt werden: Die Reduzierung der Ariditätsbegrenzung bei sehr leichtem Zugang zu Oberflächenwasser. Ohne diese Möglichkeit wäre das Entstehen der frühen agrarisch basierten Hochkulturen in den eher trockenen Regionen Mesopotamiens und am Nil nicht möglich gewesen.

Ausgegangen wird in einem quantitativen Teil der Bestimmung der naturräumlichen Dispositionsfaktoren von einer, mit Hilfe eines Neuronalen Netzes aus klimatischen Basisindikatoren berechneten Abschätzung der Nettoprimärproduktion (NPP) der natürlichen Vegetation (Lüdeke et al. 1999; Moldenhauer & Lüdeke 2001). Die hierfür verwendeten klimatischen Basisindikatoren (Temperatur, Einstrahlung, Niederschlag) stellen eine 30 jährige Mittelung von 1931 bis 1960 dar. Diese Klimatologie (CLIMATE 2.1, W. Cramer, pers. Mitteilung<sup>35</sup>) ist auch Grundlage eines Modells zur Berechnung des jährlichen globalen Gleichgewichtsoberflächenabfluss bei mittlerem Klima, MEGARUS (Lüdeke et al. 1999), dass zusammen mit einem globalen Höhenmodell eine Abschätzung der Wasserversorgung und der Bewässerungspotentials eines Standorts liefert. Diese beiden modellbasierten Basisindikatoren liefern eine Abschätzung für „nicht-ausreichende klimatischen Verhältnisse“ für das Pflanzen-

---

<sup>35</sup> CLIMATE 2.1, verbesserte Version der CLIMATE Datenbank von Leemans & Cramer (1991).

wachstum, die eine Unterscheidung einer Ariditäts- und Temperaturlimitierung erlaubt. In solcherart charakterisierten Regionen ist nicht zu erwarten, dass gute landwirtschaftliche Erträge ohne großen Aufwand zu erreichen sind. Solche Regionen sind damit Kandidaten für landwirtschaftlich marginale Standorte (Cassel-Gintz et al. 1997).

Im qualitativen, Fuzzy-Logik basierten Teil der Dispositionsbestimmung werden weitere Indikatoren für die naturräumliche Dimension der Disposition des Syndroms zugefügt. Neben „*nicht-ausreichenden* klimatischen Verhältnissen“ gibt es weitere das Pflanzenwachstum bestimmende Elemente. Die tropischen Regenwaldgebiete weisen zwar die höchsten NPP-Werte weltweit auf, sind allerdings langfristig gesehen für landwirtschaftliche Nutzung eher ungeeignet. Hier sind meist die Böden der limitierende Faktor. Die hohe natürliche Biomasseproduktion wird durch schnelles Rezyklieren der Nährstoffe ermöglicht. Die Abholzung der ursprünglichen Vegetation mit nachfolgender Bepflanzung mit Kulturpflanzen trifft auf relativ nährstoffarme und schnell auslaugbare Böden. Maßnahmen zur Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit sind hier deutlich aufwendiger als etwa in Schwarzerdegebieten mit hoher Bodenmächtigkeit. Zur Darstellung dieses Sachverhalts wird mit Hilfe der FAO Bodenkarte (FAO 1994) und einer Abschätzung der Fertilität verschiedener Bodentypen (Leemans & van den Born 1994) die „*schlechten* Böden“ bestimmt. Einer dieser beiden Faktoren, d. h. der klimatische oder der Fertilitätsfaktor, reicht aus, um „*ungünstige* Wachstumsbedingungen“ zu bestimmen. Ein „*hohes* Erosionsrisiko“, zu dessen Indizierung die Hangneigung genutzt wird, stellt einen weiteren wichtigen Aspekt der naturräumlichen Limitierung landwirtschaftlicher Nutzung dar. Das Erosionsrisiko kann die sonstigen günstigen Wachstumsbedingungen nicht komplett negieren, aber beeinträchtigen. Diese Basisindikatoren bestimmen eine „*hohe* naturräumliche Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM. Eine ausführliche Beschreibung der Elemente der naturräumlichen Dimension der Disposition und ihrer Verknüpfung miteinander ist in Cassel-Gintz et al. (1997) und Lüdeke et al. (1999) gegeben.

Die sozialräumliche Dimension des Dispositionsraums misst die Wahrscheinlichkeit, dass verarmende Bauern gezwungen sind, auf geringem Kapitalniveau den Anbau oder die Viehhaltung zu intensivieren oder die genutzte Fläche auszudehnen, um ihre Existenz zu sichern. Um die spezifischen sozialräumlichen Bedingungen hierfür zu ermitteln, werden zentralen Aspekte herausgegriffen. Bezeichnend für die sozioökonomischen Bedingungen unter denen das Syndrom aktiv werden kann, ist zum Einen eine naturnahe und zugleich kapitalarme Wirtschaftsweise, die als Subsistenzwirtschaft<sup>36</sup> bezeichnet wird. Für die Beschaffung der zum Überleben notwendigen Dinge sind die Menschen zum allergrößten Teil auf die Nutzung der unmittelbaren Naturressourcen angewiesen. Der Anbau von Lebensmitteln zum primär persönlichen Verbrauch sowie das Sammeln pflanzlicher und tierischer Rohprodukte, ohne wesentliche Überschüsse zur Steigerung des Lebensstandards und zu Investitionszwecken gewinnen zu können, sind typische Kennzeichen dieser Form der Subsistenzwirtschaft. Zum anderen ist das Fehlen ökonomischer Alternativen zur Landwirtschaft unter den genannten schlechten Bedingungen eine wichtige Bedingung. Da

---

<sup>36</sup> Der hier genutzte Subsistenzbegriff beschreibt keine reine Subsistenz. Er schließt einen geringen Anteil von monetärem Wirtschaften ein. Subsistenz im strikten Sinne des Wortes ist global fast nicht mehr feststellbar.

Angaben über Subsistenzwirtschaft in den verschiedenen internationalen Statistiken (FAO, WRI, UN) zum größten Teil nicht enthalten sind, muss eine geeigneter Indikator zur Bestimmung der Subsistenzwirtschaft gefunden werden. Ausgehend von einer Nahrungsmittelbilanzrechnung wird mit Hilfe von verschiedenen Statistiken (WRI 1997; FAOSTAT 1997) das Marktdefizit des Nahrungsmittelangebots berechnet. Sollten nun für den Fall einer hohen Differenz zwischen lokalem Kalorienbedarf und Nahrungsmittelangebot keine Hungersnöte auftreten, muss der fehlende Nahrungsmittelanteil anders, also subsistent, gedeckt werden. Ein hohes Marktdefizit für das Nahrungsmittelangebot stellt einen Indikator für einen „*hohen* Anteil von Subsistenzlandwirtschaft“ dar. Über den Anteil der Beschäftigten in der Landwirtschaft kann nun das „*Fehlen* von Alternativen“ im ökonomischen Bereich abgeleitet werden. Treten diese beiden Faktoren gleichzeitig auf, so ist das ein Hinweis auf eine „*hohe* sozioökonomische Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM (QUESTIONS 1998).

Ist nun in einer Region sowohl eine „*hohe* naturräumliche Disposition“ sowie eine „*hohe* sozioökonomische Disposition“ gegeben, liegt eine „*hohe* Disposition“ für das SAHEL-SYNDROM vor.

#### 5.2.4.2 Verschneidung und Fuzzyifizierung der Dispositionsfaktoren

Zunächst wurden die Ausgangsvariablen Netto-Primär-Produktion (NPP), Bodenfruchtbarkeit und Geländesteigung, in Bezug auf ihren Beitrag zur landwirtschaftlichen Marginalität bezogen, d. h. fuzzyifiziert (Cassel-Gintz et al. 1997). Die NPP stellt die generelle Begrenzung der landwirtschaftlichen Aktivität wegen geringer natürlicher pflanzlicher Produktion dar. Sie wird aus einer mit Hilfe eines neuronalen Netzes erzeugten NPP (Moldenhauer & Lüdeke 2001) gewonnen (Abbildung 25a). Diese modellbasierte potentielle pflanzliche Produktion kann nun als Indikator für die klimatische Begrenzung möglicher landwirtschaftlicher Tätigkeit dienen, wobei die Parameter der Fuzzyifizierung auf einer Expertenabschätzung (Cassel-Gintz et al. 1997) beruhen.

Zusammen mit „*schlechten* Böden“ (*B*; Böden geringer Fruchtbarkeit; Abbildung 25b) wird der Indikator für die „*schlechten* klimatischen Bedingungen“ (*N*; niedrige NPP) nach dem Prinzip des begrenzenden Faktors durch ein nicht-kompensatorisches fuzzy-ODER ( $\vee$ ; Maximumsoperator) zu „*ungünstigen* Wachstumsbedingungen“, *W*, verknüpft (Gleichung 9).

$$\mu_{\text{schlecht}}^{\text{Wachstum}} = \mu(N \vee B) = \max\{\mu_{\text{niedrig}}^{\text{NPP}}, \mu_{\text{schlecht}}^{\text{Böden}}\} \quad \text{Gleichung 9}$$

Bei weiterer Verknüpfung der „*ungünstigen* Wachstumsbedingungen“ mit einem „*hohen* Erosionsrisiko“, *E* (Abbildung 25c), kann ein Kompensationseffekt, wie bei den Hängen des ostafrikanischen Bergregenwalds auftreten, die wegen ihrer großen Fruchtbarkeit und guten klimatischen Bedingungen relativ unproblematisch landwirtschaftlich genutzt werden können. Dieser Zusammenhang wird durch folgende asymmetrisch-kompensatorische ODER-Verknüpfung ( $\tilde{\vee}$ , gewichteter  $\gamma$ -Operator für  $\gamma = 1$ ,  $\delta_1 = 0.85$ ,  $\delta_2 = 0.4$ ; Gleichung 10) erfasst:

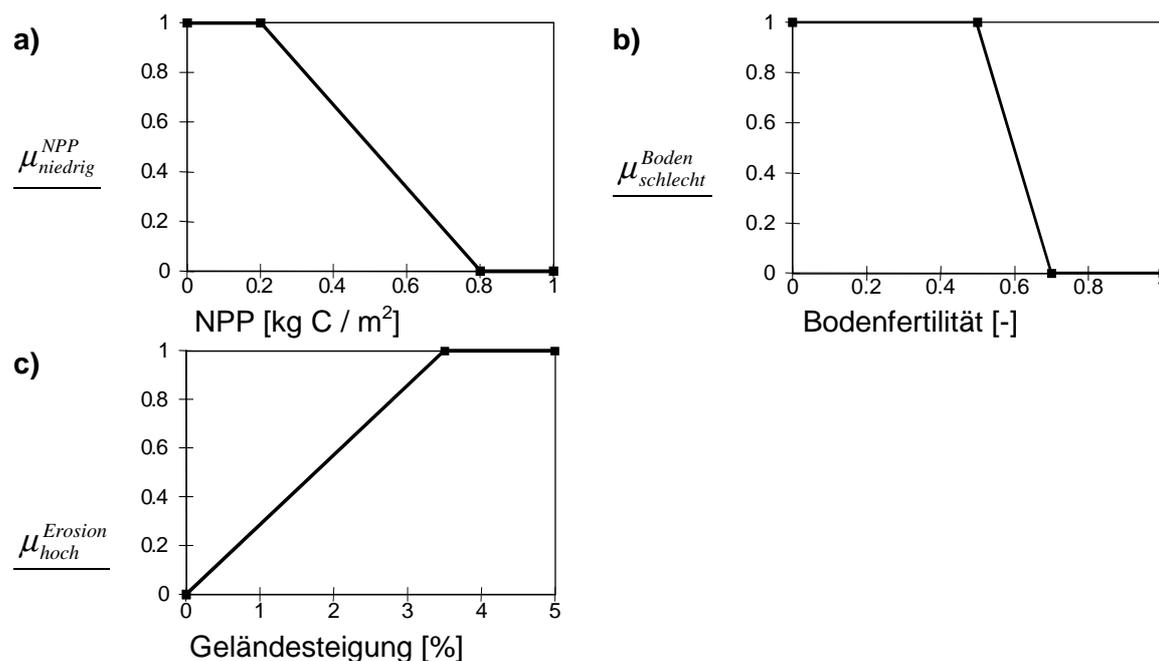


Abbildung 25: Fuzzifizierung der Ausgangsvariablen der naturräumlichen Dimension der SAHEL-SYNDROM Disposition.

$$Variable1 \tilde{\vee} Variable2 = \left\{ 1 - \left( 1 - \mu^{Variable1} \right)^{\delta 1} \cdot \left( 1 - \mu^{Variable2} \right)^{\delta 2} \right\}^{\gamma} \cdot \left\{ \left( \mu^{Variable1} \right)^{\delta 1} \cdot \left( \mu^{Variable2} \right)^{\delta 2} \right\}^{1-\gamma} \quad \text{Gleichung 10}$$

wobei:  $\mu^{Variable1} = \mu_{schlecht}^{Wachstum} = \max \{ \mu_{niedrig}^{NPP}, \mu_{niedrig}^{Fertilität} \}$  und  $\mu^{Variable2} = \mu_{hoch}^{Erosion}$

$\delta 1$  und  $\delta 2$  wurden hier so gewählt, dass für kleine und mittlere Erosionsrisiken nur eine geringe zusätzliche Marginalisierung erfolgt, während ein sehr hohes Erosionsrisiko (starke Hangneigung) auch durch ansonsten sehr günstige Bedingungen nicht mehr kompensiert werden kann. Als Endresultat erhält man Wahrheitswerte für die Zugehörigkeit zu Standorten „hoher naturräumlicher Marginalität“ (Gleichung 11).

$$\mu_{hoch}^{nat.Mrg.} = \mu (W \tilde{\vee} E) = \max \{ \mu_{niedrig}^{NPP}, \mu_{schlecht}^{Boden} \} \tilde{\vee} \mu_{hoch}^{Erosion} \quad \text{Gleichung 11}$$

Werte nahe 1 bedeuten, dass es an diesen Orten eines sehr großen Aufwands bedarf, um nachhaltig gute landwirtschaftliche Erträge zu erzielen. Solche Standorte entsprechen dem naturräumlichen Marginalitätskriterium. Im oberen Teil von Abbildung 27 ist noch einmal zusammenfassend die Argumentationskette des vorgestellten Algorithmus graphisch dargestellt. Die Bewertung eines „hohen Anteil Subsistenzlandwirtschaft“ erfolgt auf Basis einer Nahrungsmittelbilanzrechnung. Die in den Produktionsstatistiken ausgewiesene Agrarproduktion ( $P$ ) eines Landes setzt sich hauptsächlich aus den kommerziell gehandelten Gütermengen zusammen. Dabei handelt es sich um Güter, die für den Weiterverkauf und Konsum im Inland oder für den Export ( $E$ ) bestimmt sind. Unter Berücksichtigung von zusätzlichen Importen ( $I$ ) und einer unter Umständen vorhandenen Lagerhaltung ( $C$ ) lässt sich dann die im Land zur Verfügung stehende Lebensmittelmenge ( $L$ ) bilanzieren:

$$L = P - E + I \pm C \quad \text{Gleichung 12}$$

Unter der Annahme, dass sich die Lagerhaltung im Jahresmittel nicht wesentlich verändert, ist  $C$  vernachlässigbar. Die Messung von Produktion und Handelsströmen erfolgt nicht in

monetären Größen, sondern als Menge (Tonnen) von Getreideäquivalenten. In Kalorien umgerechnet ergibt  $L$  das zur Verfügung stehende Kalorienangebot eines Landes. Die Konkurrenzgröße dazu ist die „untere Kaloriengrenze“ von durchschnittlich  $K = 2000$  kcal pro Kopf (ISÖ 1994), die den notwendigen Mindestbedarf für das Überleben eines Menschen kennzeichnet. Multipliziert mit der Zahl der Bewohner  $N$  ergibt sich der Nahrungsbedarf eines Landes. Die Größe  $X$  ist dann die Differenz aus  $L$  und  $N \cdot K$ :

$$X = L - N \cdot K \quad \text{Gleichung 13}$$

Wenn die gesamte im Inland verbleibende Nahrungsmenge von den dort lebenden Menschen aufgebraucht würde, wäre  $X = 0$ . Ein Teil von  $L$  wird allerdings nicht diesem Zweck zugeführt. Die verfügbare Nahrungsmittelmenge (FAOSTAT 1997) wird in der Realität auch noch typischerweise durch die Verwendung für Saatgut, Futtermittel oder Treibstoffproduktion, sowie Verschwendung (Abfall) und Verluste bei der Nahrungsmittelzubereitung verringert, was die über den Markt zur Verfügung gestellte Kalorienmenge schmälert. Sollte  $X$  für ein Land negativ werden und erkennbar keine Hungersnot auftreten, so kann gefolgert werden, dass sich ein Teil der Bevölkerung durch den privaten, nicht marktorientierten Anbau subsistent versorgt haben muss (Abbildung 26a). Damit wäre  $X$  ein quantitatives Maß für die Wahrscheinlichkeit eines vergleichsweise „hohen Anteils Subsistenzlandwirtschaft“. Je größer die negative Differenz, desto größer der Anteil an Subsistenzwirtschaft.

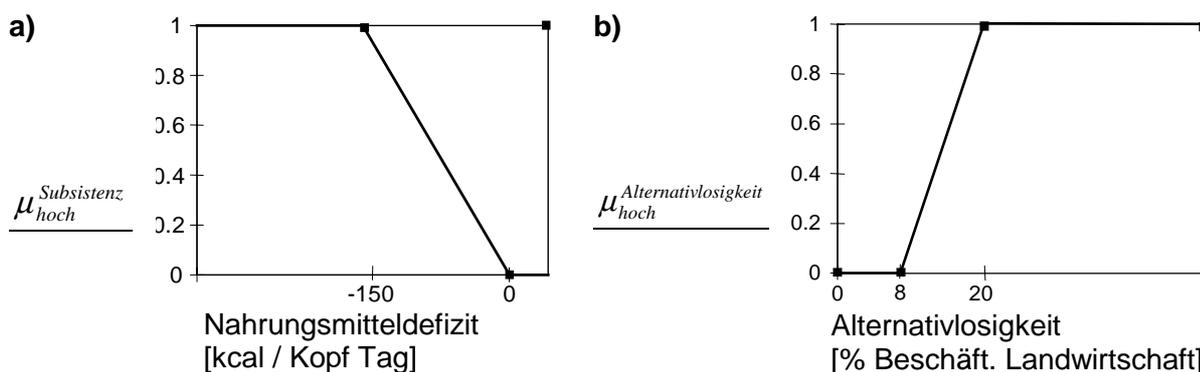


Abbildung 26: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen für die sozioökonomische Dimension der SAHEL-SYNDROM Disposition.

Die Alternativlosigkeit zur Landwirtschaft wird über den Anteil der Beschäftigten in der Landwirtschaft bestimmt. Der Zugehörigkeitswert  $\mu_{hoch}^{Alternativlosigkeit}$  zur „hohen Alternativlosigkeit“,  $A$ , wird mit Hilfe der Rampe in Abbildung 26b erzeugt. Je höher der Anteil der beschäftigten in der Landwirtschaft, desto niedriger ist die Möglichkeit der Beschäftigung in alternativen Sektoren zu bewerten. Eine „hohe sozioökonomische Marginalität“ ist gegeben wenn sowohl ein „hoher Anteil von Subsistenzlandwirtschaft“,  $S$ , als auch das Fehlen von Alternativen, gegeben ist, was durch eine fuzzy-UND Verknüpfung ( $\wedge$ , Minimumsoperator; Gleichung 14) charakterisiert wird.

$$\mu_{hoch}^{soz.Mrg.} = \mu(S \wedge A) = \min\{\mu_{hoch}^{Subsistenz}, \mu_{hoch}^{Alternativlosigkeit}\} \quad \text{Gleichung 14}$$

### 5.2.4.3 Bestimmung der Gesamtdisposition

Die bisherige Argumentation zur Dispositionsbestimmung ist in Abbildung 27 noch einmal in Form eines logischen Bewertungsbaums zusammengefasst. Die bisher bestimmten Zugehörigkeitswerte einzelner Orte zur Menge der „*hohen* naturräumlichen Disposition“,  $\mu_{hoch}^{nat.Mrg.}$ , bzw. „*hohen* sozioökonomischen Disposition“,  $\mu_{hoch}^{soz.Mrg.}$ , sollen zur Identifikation der Gesamtdisposition kombiniert werden. Aus der Konstruktion der beiden Komponenten geht hervor, dass sowohl die naturräumliche Fragilität gegenüber der *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft*, als auch die Alternativlosigkeit der (möglicherweise) *verarmenden Landbevölkerung* zur Ausweitung ihrer landwirtschaftlichen Aktivitäten notwendig für die SAHEL-SYNDROM-Disponiertheit einer Region sind. Damit muss für die Gesamtdisposition eine Form der UND-Verknüpfung verwendet werden. Die spezielle Wahl wird dadurch bestimmt, dass ein schwacher Kompensationseinfluss berücksichtigt werden soll. Bei mittlerer sozialräumlicher Marginalität und gleichzeitig sehr starker naturräumlicher Marginalität soll die Gesamtmarginalität etwas größer sein als im Falle ebenfalls nur mittlerer naturräumlicher Marginalität. Dies ist am besten durch den  $\gamma$ -Operator ( $\checkmark$ ) (siehe Appendix I) in symmetrischer Form ( $\delta 1 = 1, \delta 2 = 1$ ) nahe am booleschen-UND ( $\gamma = 0.2$ ) zu beschreiben,:

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu(nat.Mrg. \hat{\wedge} soz.Mrg.) \\ &= \left\{ 1 - (1 - \mu(nat.Mrg.))^1 \cdot (1 - \mu(soz.Mrg.))^1 \right\}^{0.2} \cdot \left\{ \mu(nat.Mrg.)^1 \cdot \mu(soz.Mrg.)^1 \right\}^{0.8} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 15}$$

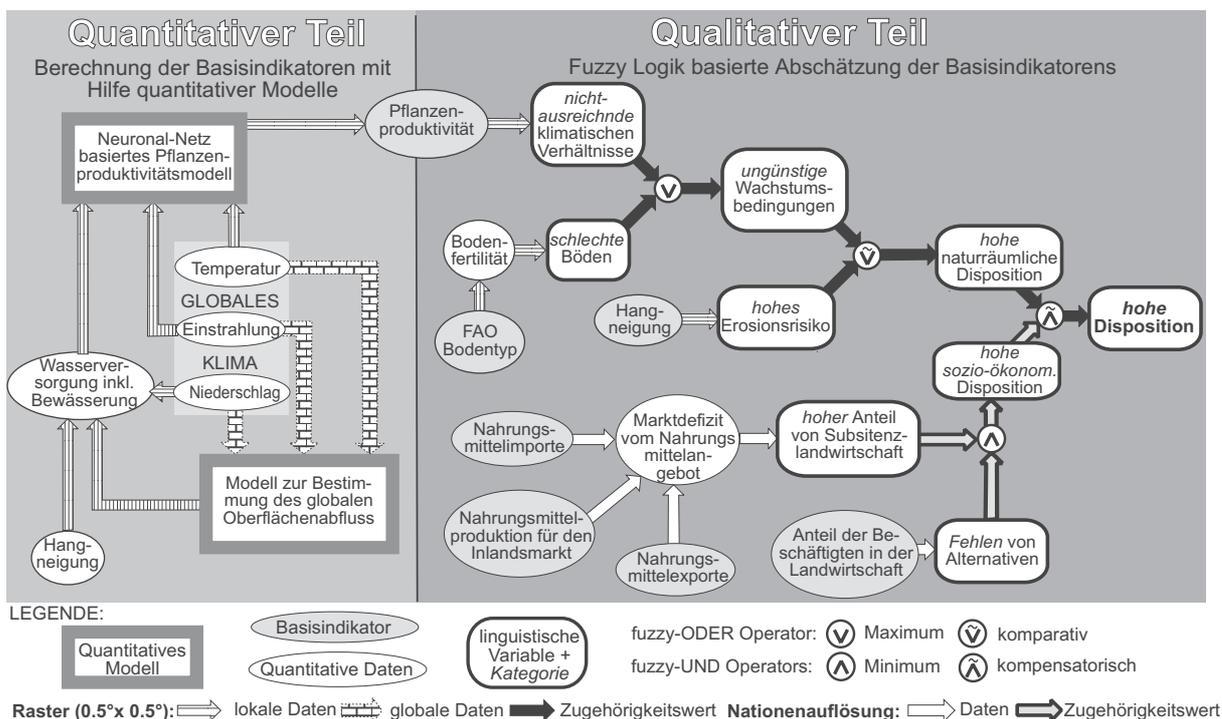


Abbildung 27: Aus quantitativen Modelldaten und qualitativen Variablen erzeugter Bewertungsbaum der SAHEL-SYNDROM Disposition (Cassel-Gintz et al. 1997; Lüdeke et al. 1999).

Die Karte in Abbildung 28 zeigt die gegenüber dem SAHEL-SYNDROMS disponierten Gebiete. In Kombination mit der geographischen Intensitätsverteilung, welche schon „befallenen“ Regionen identifiziert und in der Stärke ihres „Befalls“ abschätzt, ist es möglich, Regionen zu

identifizieren, in denen der Ausbruch des Syndroms droht, aber durch geeignete Maßnahmen unter Umständen zu verhindern ist.

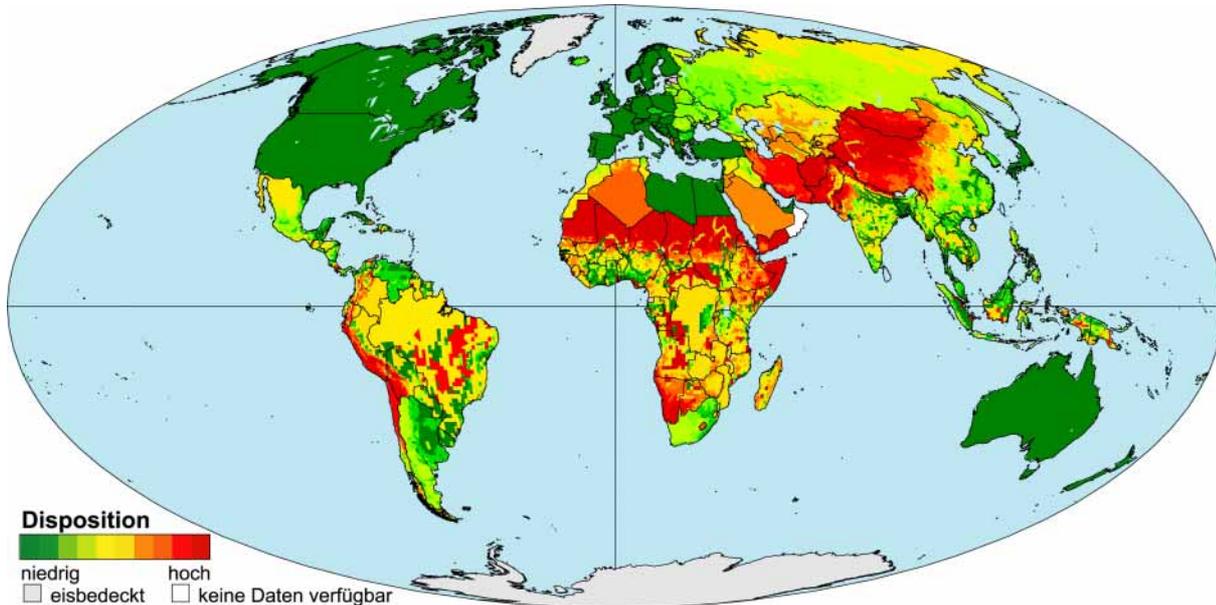


Abbildung 28: Disposition gegenüber dem SAHEL-SYNDROM.

#### 5.2.4.4 Interpretation der räumlichen Verteilung des Dispositionsraum

Afrika verfügt über einen relativ hohen Anteil von Ländern mit einer relativ hohen Disposition für das SAHEL-SYNDROM. Neben den Ländern der namensgebenden Sahel-Region, ist eine starke Disposition auch in den Ländern Südwest-Afrikas (Botswana, Namibia und der südliche Teil von Angola), den Maghrebländern (Marokko, Algerien und Tunesien), dem Horn von Afrika, Zentralafrika (im Grenzgebiet Angolas, der Demokratischen Republik Kongo, dem Kongo) sowie in Teilen Madagaskars gegeben.

Die wesentlichen disponierten Regionen Asiens umfassen den Altweltlichen Trockengürtel (die ariden und semi-ariden Regionen der Arabischen Halbinsel, Irak, Iran, Afghanistan, Pakistan bis hin zu den chinesischen Gobi- und Mongolei). Die Tatsache, dass hier die zentralasiatischen GUS-Staaten, Turkmenistan, Kasachstan, Tadschikistan, Usbekistan und Kirgistan, als nicht disponiert erscheinen, ist auf die inkonsistente Datenlage zurückzuführen. Die sozioökonomischen Daten sind noch für die Sowjetunion erhoben und gemittelt, was das Bild verzerrt. In Indien erscheinen neben dem hoch disponierten Rajasthan vor allem Teile von Andhra Pradesh und Madhya Pradesh als disponiert. Die indizierten Gebiete in Südostasien und den südostasiatischen Inselstaaten können auf eine unzureichende Bodenfruchtbarkeit und eine hohe Steigungsmarginalität zurückgeführt werden.

Neben dem hoch disponierten Kordillerenstreifen erscheinen hauptsächlich die trockenen Gebiete Nordost-Brasiliens und die für Brandrodungswanderfeldbau genutzten Regionen Amazoniens als hoch anfällig.

Mit Ausnahme von kleineren Teilen des Balkans erscheint Europa, Nordamerika sowie Australien, auf Grund der meist vorhandenen naturräumlichen Gunstlage aber vor allem auf Grund der ökonomischen Alternativen, als nicht-disponiert für das SAHEL-SYNDROM.

### 5.2.5 Intensität des SAHEL-SYNDROM

Durch den Vergleich der geographischen Verteilung disponierter Regionen mit solchen einer hohen SAHEL-SYNDROM Intensität werden folgende Analyseoptionen eröffnet:

- Die Identifikation disponierter Regionen, in denen das Syndrom noch nicht ausgebrochen ist (wichtig für ein globales Management).
- Die Identifikation von Inkonsistenzen, falls das Syndrom in nicht dafür disponierten Region anzutreffen sein sollte.

Eine weitere Möglichkeit zur Identifikation von Inkonsistenzen stellt der direkte Vergleich des berechneten Intensitätsmaßes mit Expertenwissen und Fallstudien über die im Detail beobachtete Präsenz des syndromtypischen Ursache-Wirkungsmusters dar.

Die Existenz der Symptome des Syndromkerns (Abbildung 24) mit ihren syndromspezifischen Wechselwirkungen in einer Region wäre eine hinreichende und notwendige Bedingung für das Auftreten des Syndroms. Der Nachweis von Wechselwirkungen gestaltet sich aber weitaus schwieriger als der von Trends. Bei letzteren ist man mit prinzipiell lösbaren Problemen wie dem Abgleich unterschiedlicher Datenerfassungsmethoden, mangelnder räumlicher und zeitlicher Auflösung oder Lückenhaftigkeit der Datenbasis konfrontiert. Der Nachweis von Wirkungsbeziehungen dagegen kann meist nur indirekt geführt werden. Der schwächste Hinweis auf einen Wirkungszusammenhang ist das gemeinsame Auftreten von Symptomen. Ein schwerwiegenderes Indiz ist gefunden, wenn es gelingt, aus der Form der Verknüpfung der Symptome Aussagen über die dynamischen Eigenschaften des Syndromkerns abzuleiten, deren Auftreten dann anhand der vorhandenen Daten überprüft werden kann. Allerdings ist es meist möglich, alternative Wechselwirkungsnetzwerke anzugeben, die ähnliche dynamische Eigenschaften aufweisen. Daher stellt dieses Verfahren zur Syndromidentifikation keine hinreichende, sondern nur eine notwendige Bedingung dar (Petschel-Held et. al 1999). Es erlaubt jedoch die weitere Annäherung an die Verortung des Syndroms.

Eine explizite mathematische Formalisierung der Beziehungsgeflechtdynamik liegt derzeit noch nicht vor, man kann jedoch unter der Annahme, dass eine solche auf der physikalischen Prozess-Vorstellung (der Systemzustand ändert sich in der Zeit und diese Änderung hängt vom jeweiligen Systemzustand ab) beruhen dürfte, zur Herleitung qualitativer dynamischer Eigenschaften „modellhaft“ auf ein Differentialgleichungssystem zurückgreifen. Als erste Annäherung an eine Intensitätsmessung wird ein vereinfachter Syndromkern ohne externe Triebkräfte angenommen. Um eine Vorstellung von den qualitativen dynamischen Eigenschaften dieses Systems zu erhalten, wird ein Differentialgleichungssystem entwickelt, dass die im Syndromkern beschriebenen gegenseitigen Verstärkungen mathematisch formalisiert. Bezeichnet man den Bodenabtrag seit einem Referenzzeitpunkt  $t_0$  mit  $B(t)$ , die

absolute Zahl der auf dem Lande lebenden Menschen, deren Einkommen unter einer definierten Armutsgrenze („poverty line“) liegt, mit  $A(t)$  und mit  $N(t)$  ein Maß für die Bewirtschaftungsintensität der derzeit landwirtschaftlich genutzten Fläche, dann bedeutet  $dB/dt$  die derzeitige *Erosionsrate*,  $dA/dt$  die *Verarmung der ländlichen Bevölkerung* und  $dN/dt$  die *Ausweitung / Intensivierung der Landwirtschaft*. Es lassen sich nun für das SAHEL-SYNDROM folgende Zusammenhänge konstatieren:

- (existentielle) Armut bedingt eine Flächenausdehnung / Intensivierung
- die landwirtschaftliche Nutzung einer Fläche bedingt eine Erosionsrate
- die Armut ist, über den Ertrag, eine Funktion des Bodenzustands und der landwirtschaftlichen Aktivität

$$\frac{dN}{dt} = f_1(A); \quad \frac{dB}{dt} = f_2(N); \quad A = f_3(N, B) \quad \text{Gleichung 16}$$

$$\text{mit: } \frac{\partial f_1}{\partial A} > 0; \quad \frac{\partial f_2}{\partial N} > 0; \quad \frac{\partial f_3}{\partial B} > 0; \quad \frac{\partial f_3}{\partial N} < 0$$

Aus Gründen der Vereinfachung und der unzureichenden Datenverfügbarkeit wird  $f_i$  als linear angenommen. Durch Ersetzen von  $A$  in Gleichung 16 kann das System vereinfacht werden:

$$\frac{dN}{dt} = f_1(f_3(N, B)) = g(N, B) = g_1N + g_2B + g_3; \quad \frac{dB}{dt} = c_1N + c_2 \quad \text{Gleichung 17}$$

Wobei  $g_1 < 0$ ,  $g_2 > 0$ ,  $c_1 > 0$  und  $c_2, g_3$  nicht weitergehend determiniert sind (Petschel-Held et. al 1999). Durch einfache Integration folgt:

$$N(t) = K_0 e^{\alpha_+ t} + K_1 e^{\alpha_- t} - \frac{c_2}{c_1} \quad t \gg 0 \quad \approx K_0 e^{\alpha_+ t} \quad \text{Gleichung 18}$$

$$B(t) = \frac{K_0 c_1}{\alpha_+} e^{\alpha_+ t} + \frac{K_1 c_1}{\alpha_-} e^{\alpha_- t} + K_2 \quad t \gg 0 \quad \approx \frac{K_0 c_1}{\alpha_+} e^{\alpha_+ t}$$

wobei  $K_i$  bestimmt ist durch die Ausgangsbedingungen und

$$\alpha_{\pm} = \left( g_1 \pm \sqrt{g_1^2 + 4g_2c_1} \right) / 2.$$

Da aber weder die Ausgangsbedingungen noch die Parameter  $g_i$  und  $c_i$  bekannt sind, kann eine direkte Überprüfung der Validität des Systems durch einen Vergleich mit gemessenen Daten nicht erfolgen. Andererseits ergibt sich für  $t \gg 0$ :

$$\frac{dN/dt}{N} = \frac{dB/dt}{B} = \frac{dA/dt}{A} = \text{konstant} = \alpha_+ \quad \text{Gleichung 19}$$

Dies bedeutet, dass aus der Spezifikation des vorgeschlagenen Mechanismus in Gleichung 16 und seiner linearen Realisierung folgt, dass die relativen temporären Änderungen a) gleich und b) konstant über die Zeit sind. Für die Überprüfung von Bedingung a) werden Daten für  $(B, N, A)$  zu mindestens 2 verschiedenen Zeitpunkten ( $t_1, t_2$ ) benötigt um die zeitliche Ableitung numerisch zu bestimmen. Für Bedingung b) wären mindestens 3 Zeitpunkte notwendig, was die derzeitige globale Datenlage überschreitet.

Unter der Bedingung einer kompletten Aktivität der Syndromdynamik, d. h

- die Syndromdynamik war hinreichend lange aktiv, so dass der Einfluss der Anfangsbedingungen nicht mehr wesentlich ist („für große Zeiten  $t^*$ “),
- die Syndromdynamik war noch nicht solange aktiv, dass die Existenzbedingungen der Syndromentwicklung nicht mehr vorliegen,

sollte die Konstanz und Gleichheit der logarithmischen Ableitungen erfüllt sein. Unter den oben genannten einschränkenden Bedingungen stellt die Linearisierung der monoton steigenden Funktionen eine ausreichende Näherung dar. Diese soweit hergeleitete systemare Eigenschaft des SAHEL-SYNDROM-Teufelskreises wird zur Bestimmung der räumlichen Verteilung der Syndromintensität verwendet (Petschel-Held et. al 1999).

### **5.2.5.1 Messung der Symptome des Teufelskreises**

#### ***Verarmung***

Das Ausmaß der Übernutzung der natürlichen Ressourcen von der absoluten Anzahl der Menschen abhängt, die aus Überlebensgründen auf die Ausdehnung bzw. die Intensivierung ihrer landwirtschaftlichen Tätigkeiten angewiesen sind, stellt im Syndromzusammenhang die absolute Anzahl der Armen in ländlichen Regionen ein geeignetes Armutsmaß dar. Zur Messung der Anzahl der Armen wird eine Armutsgrenze definiert, unterhalb derer die überlebensnotwendige Versorgung mit Nahrungsmitteln und sonstigen Gütern wie Kleidung und Unterkunft nicht gewährleistet ist. Die Anzahl der Menschen, deren Einkommen unterhalb dieser Armutsgrenze liegt („*Headcount Index*“), wird durch meist landesweite Erhebungen abgeschätzt, wobei Natural- und Geldeinkommen berücksichtigt werden. Wünschenswert wären nun weltweite, auf Verwaltungseinheiten unterhalb der Staatenebene bezogene Zeitreihen dieses ländlich Armutsmaßes. Aus vielerlei Gründen (großer Aufwand bei der Erhebung, nur geringes Interesse an der Veröffentlichung dieses Sozialindikators, etc.) ist die derzeitige Datenlage jedoch sehr schlecht. Es liegt eine Sammlung von länderweiten Daten über die ländliche Armut in den 80er Jahren und im Jahr 1992 seitens der UNDP (1994) vor, die jedoch in Bezug auf die Armutsentwicklung teilweise Inkonsistenzen aufweist. Eine weitere länderweite Datensammlung zur ländlichen Armut liegt seitens der ILO (1994) für etwa dieselben Zeitpunkte vor, wobei hier bei der Auswahl der Studien besonders auf Konsistenz bezüglich der Trendabschätzung in den einzelnen Ländern Wert gelegt wurde. Beide Datensammlungen beziehen Industrieländer nicht ein und sind auch für die Entwicklungsländer lückenhaft. Diese Datenlücken sind nicht mit Abschätzungen unter Verwendung von derzeit zugänglichen flächendeckend erhobenen Indikatoren zu füllen. Umfangreiche Versuche zur Reproduktion der erhobenen Armutsdaten mit Hilfe mehrdimensionaler Regressionen (verwendet wurden: BIP / Kopf [PPP \$], durchschnittliche Lebenserwartung, Kindersterblichkeit, Analphabetenrate, Einschulungsrate, etc.) ergaben neben großen Fehlern in der Schätzung ( $r$  bestenfalls 0.6, teilweise auch kontraintuitive Koeffizienten vorzeichen wie „*Analphabeten verringern die Armut*“), auch stark veränderte Rankings. Der wesentliche Grund für die Unmöglichkeit, Armutsdaten aus obigen Indikatoren abzuschätzen, liegt sicherlich darin, dass die existentielle Armut mindestens genauso von Verteilungsaspekten

wie von der durchschnittlichen Situation der Gesellschaft abhängt, erstere aber aus vielerlei Gründen meist nicht quantifiziert zur Verfügung stehen.

Auf Basis der zugänglichen, auf Erhebungen beruhenden Armutsdaten wurde die durchschnittliche jährliche relative Änderung der ländlichen Armut  $(dA/dt) / A$  für den Zeitraum von 1985 bis 1992 wie folgt angenähert:

$$\frac{dA/dt}{A} = \frac{n_a(1992) - n_a(1985)}{3.5 \cdot (n_a(1992) + n_a(1985))} \quad \text{Gleichung 20}$$

wobei:  $n_a(t)$  = Anzahl der Landbevölkerung unterhalb der Armutsgrenze im Jahr  $t$ .

### ***Bodendegradation***

Eine globale Erhebung von Bodendegradationsarten, -Ausdehnungen, -Intensitäten und Raten durch ISRIC (International Soil Reference and Information Center; Oldemann 1990<sup>37</sup>) stellt die Grundlage dieser Abschätzung dar. Die räumliche Auflösung wird durch die Flächen gleichen Bodentyps auf Basis der FAO-Bodenkarte (FAO 1994) bestimmt. Die Datensammlung bezieht sich auf die späten 80er Jahre und passt damit zum Zeitraum der Armutserhebungen. Zur Charakterisierung des Zustands der Bodendegradation wird auf die Variable „*Severity*“, die für jede Fläche die Ausdehnung und den Grad der Degradationserscheinungen zusammenfasst, zurückgegriffen. Für die augenblickliche Rate der Bodendegradation steht eine Expertenschätzung zur Verfügung (Petschel-Held et al. 1999). Da bei der Schätzung der Rate der Bezug zur Zustandsschätzung nicht fixiert war, ist die relative Bodendegradationsrate  $(dB/dt)/B$  aus dem ISRIC-Datensatz nur bis auf einen Faktor  $f$  zu entnehmen:

$$\frac{dB/dt}{B} = \frac{f \cdot \text{Rate}}{\text{Severity}} \quad \text{Gleichung 21}$$

Zur Bestimmung von  $f$  wurden quantitative Schätzungen herangezogen, wie sie etwa Pimentel et al. (1995) für die USA angibt. Hiernach nahm die durchschnittliche Dicke des fruchtbaren Oberbodens von 23 cm zum Ende des 18. Jahrhunderts auf heute etwa 15 cm ab. Die derzeitige durchschnittliche Erosionsrate liegt bei etwa 15 mm pro Jahr, was eine durchschnittliche relative Rate von etwa 2 % / a bedeutet.  $f$  wurde nun so gewählt, dass die entsprechende durchschnittliche Rate mit den ISRIC-Daten reproduziert wurde.

### ***Ausdehnung / Intensivierung der Landwirtschaft***

*Ausdehnung* und *Intensivierung der Landwirtschaft* werden auf Grund ihrer funktional identischen Rolle im Syndromteufelskreis zu einem Maß zusammengefasst. Neben der Ausdehnung der ackerbaulich genutzten Fläche stellt die Erhöhung des Viehbestandes eine typische Landnutzungsänderung bei relativ geringer Kapitalintensität dar. Als Datenbasis zur Bestimmung dieses Symptoms wird auf länderweite Zeitreihen des Kamel- ( $n_K$ [cap.]), Rinder- ( $n_R$ [cap.]), Schaf- ( $n_S$ [cap.]) und Ziegenbestandes ( $n_Z$ [cap.]) sowie des ackerbaulich

<sup>37</sup> Siehe auch die Karte zum GW Kernproblem Bodendegradation in Kap. 2.

genutzten Landes („*arable land*“,  $a$  [ha]) des WRI (1994) zurückgegriffen. Zunächst wird ein Nutzungsmaß  $N$  auf Basis dieser Größen definiert:

$$N(t) = n_K(t) + 0.5 \cdot n_R(t) + 0.1 \cdot n_S(t) + 0.1 \cdot n_Z(t) + 3.0 \frac{\text{cap.}}{\text{ha}} \cdot a \quad \text{Gleichung 22}$$

Die Gewichtung der Viehbestände untereinander beruht auf Angaben von Lamprey (1983) und ist am typischen Lebendgewicht der Tiere als Näherung ihres Futterbedarfs und Nutzens (Milch-, Fleischproduktion) orientiert. Die ackerbaulich genutzte Fläche wurde auf der Basis des Ernteertrages mit den Viehbeständen vergleichbar gemacht. Hierzu wurde auf Lampreys Daten zur minimalen Herdengröße für die subsistente Ernährung einer Familie sowie auf typische Hektarhirseerträge (Franke 1992) im Vergleich zum Kalorienbedarf eines Menschen zurückgegriffen<sup>38</sup>. Die mittlere relative Ausweitung / Intensivierung für den Zeitraum von 1985 bis 1992 wurde danach wie folgt bestimmt.

$$\frac{dN/dt}{N} = \frac{N(1992) - N(1985)}{3.5 \cdot (N(1992) + N(1985))} \quad \text{Gleichung 23}$$

### 5.2.5.2 Bestimmung der Präsenz des Syndromteufelskreises

Nach der Bestimmung der relativen Änderungen der am vereinfachten Syndromteufelskreis beteiligten Symptome, muss zur Auswertung ein Maß für die Erfülltheit der notwendigen Bedingungen definiert werden. Dabei ist zu beachten, dass die Symptome vorhanden sein müssen, d. h. alle relativen Änderungen größer 0 sind. Für diesen Fall wurde die Summe der absoluten Differenzen zwischen den relativen Änderungen als Maß für die Teufelskreispräsenz,  $T_{\text{sahel}}$ , des SAHEL-SYNDROMS bestimmt:

$$T_{\text{sahel}} = \left( c - \left[ \left| \frac{dN/dt}{N} - \frac{dB/dt}{B} \right| + \left| \frac{dN/dt}{N} - \frac{dA/dt}{A} \right| + \left| \frac{dA/dt}{A} - \frac{dB/dt}{B} \right| \right] \right) / c \quad \text{Gleichung 24}$$

Mit dieser Definition ist für  $T_{\text{sahel}} = 1$  die Präsenz des Teufelskreises am wahrscheinlichsten.  $T_{\text{sahel}}$  wird auf die linguistische Variable  $\mu_{\text{hoch}}^{\text{Präsenz}}$  für die Zugehörigkeit zu einer „*hohen* Präsenz des Teufelskreises“, abgebildet (Abbildung 29a). Für  $T_{\text{sahel}} \rightarrow 0$  nimmt  $\mu_{\text{hoch}}^{\text{Präsenz}}$  immer weiter ab. Der systemare Indikator  $T_{\text{sahel}}$  misst allerdings nicht die Stärke der Symptome, sondern nur die Wahrscheinlichkeit, dass die angenommenen *Wechselwirkungen* vorliegen. Damit ist in einer Region, in der alle drei Trends stark, aber mit sehr unterschiedlichen relativen Raten auftreten, weniger mit dem SAHEL-SYNDROM zu rechnen als in einer Region, in der die Symptome schwach, aber mit genau gleichen relativen Raten ausgeprägt sind. Im ersten Fall kann es dann als sehr wahrscheinlich angesehen werden, dass die Trends durch Beziehungen angetrieben werden, die nichts mit dem SAHEL-SYNDROM-Mechanismus zu tun haben.

### 5.2.5.3 Bestimmung des Intensitätsmaß

Um nun zu einem Indikator für die Intensität des SAHEL-SYNDROMS zu gelangen, muss neben dem Indikator für die Präsenz des grundlegenden Mechanismus noch ein Maß für die Stärke

<sup>38</sup> In Realität dominieren natürlich gemischte Ernährungsweisen.

des Auftretens des Mechanismus berücksichtigt werden. Als ein geeigneter Indikator für die Stärke des Mechanismus wird die maximale relative Änderungsrate aus den drei Teilen des Präsenzindikators (Gleichung 25) genutzt.

$$S_{Sahel} = \max \left\{ \frac{dN/dt}{N}, \frac{dB/dt}{B}, \frac{dA/dt}{A} \right\} \quad \text{Gleichung 25}$$

Überschreitet die maximale relative Änderungsrate,  $S_{Sahel}$ , die durchschnittliche Rate des Bevölkerungswachstums von etwa 3 %, wird die „Stärke“ des Teufelskreises als „hoch“ angesetzt (Abbildung 29b).

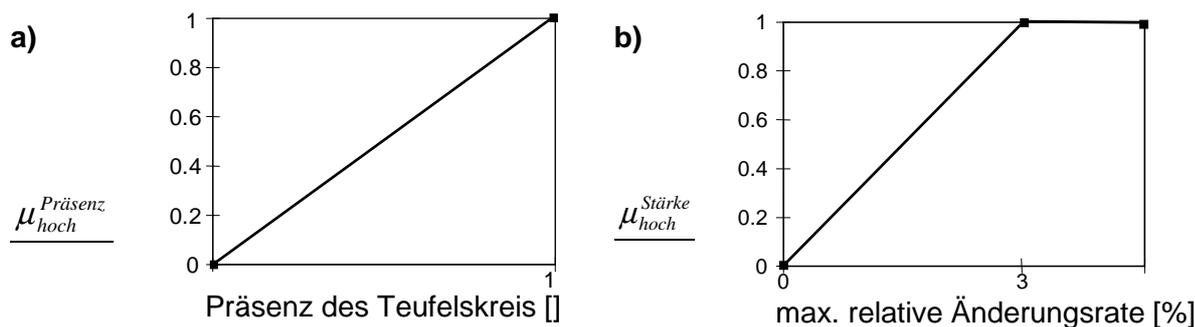


Abbildung 29: Fuzzifizierung der Elemente der SAHEL-SYNDROM Intensität.

Um eine Intensität für das Syndrom angeben zu können, müssen nun beide Bedingungen, eine „hohe Präsenz des Teufelskreises“ und eine „hohe Rate der Verschlechterung“ einer der Variablen, vorliegen, was formal durch eine fuzzy-UND Verknüpfung (Minimum; Gleichung 26) erreicht wird.

$$\mu_{hoch}^{Sahel} = \mu (Präsenz \wedge Stärke) = \min \{ \mu_{hoch}^{Präsenz}, \mu_{hoch}^{Stärke} \} \quad \text{Gleichung 26}$$

Der Zugehörigkeitswert  $\mu_{hoch}^{Sahel}$  stellt einen komplexen Indikator dar, welcher Regionen ausweist, in denen es auf Grund des SAHEL-SYNDROM-Teufelskreises zu einer Verstärkung entweder der Verarmung, Bodendegradation oder Intensivierung der landwirtschaftlichen Aktivität im Zeitraum zwischen 1985 und 1992 gekommen ist (Abbildung 30). Die räumliche Auflösung der Ausgangsdaten ist bei der *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft* sowie bei der *Verarmung* der Landbevölkerung länderweit, während die relative *Bodendegradationsrate* in feinerer Auflösung vorliegt. Damit wird für die nur länderweit bekannten relativen Änderungen Homogenität über die gesamte Landesfläche angenommen. Ausführliche Darstellungen der einzelnen Zwischenschritte der Intensitätsmessung sind in QUESTIONS (1996, 1988) gegeben.

#### 5.2.5.4 Diskussion des berechneten Intensitätsmusters

Zunächst soll mit Hilfe der oben eingeführten Bewertungsfunktion die Konsistenz der Intensitäten mit den berechneten Dispositionswerten diskutiert werden. Eine Konsistenz ist nur dann gegeben wenn eine Intensität mit einer hohen Disposition zusammentrifft. Fälle in denen eine Intensität aber keine Disposition berechnet werden sind als inkonsistent anzusehen. Das Resultat dieser Konsistenzauswertung ist in Abbildung 31 dargestellt, wobei

dunkle Flächen auf lokale Inkonsistenzen hinweisen. Insgesamt lässt sich feststellen, dass nur relativ wenige Regionen der Inkonsistenz auftauchen, so dass eine gegenseitige Bestätigung der unabhängigen Dispositions- und Intensitätsbestimmungen zu konstatieren ist.

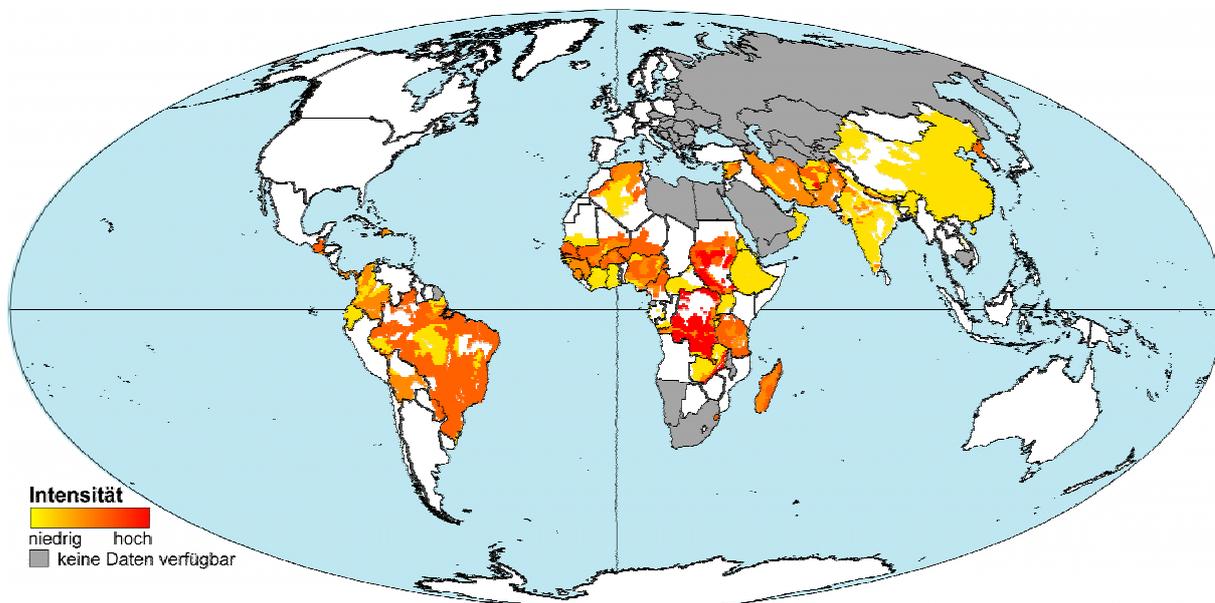


Abbildung 30: Intensität des SAHEL-SYNDROMS für den Zeitraum von 1985 - 1992. weiß = Syndrom nicht aktiv; grau = keine ausreichenden Daten.

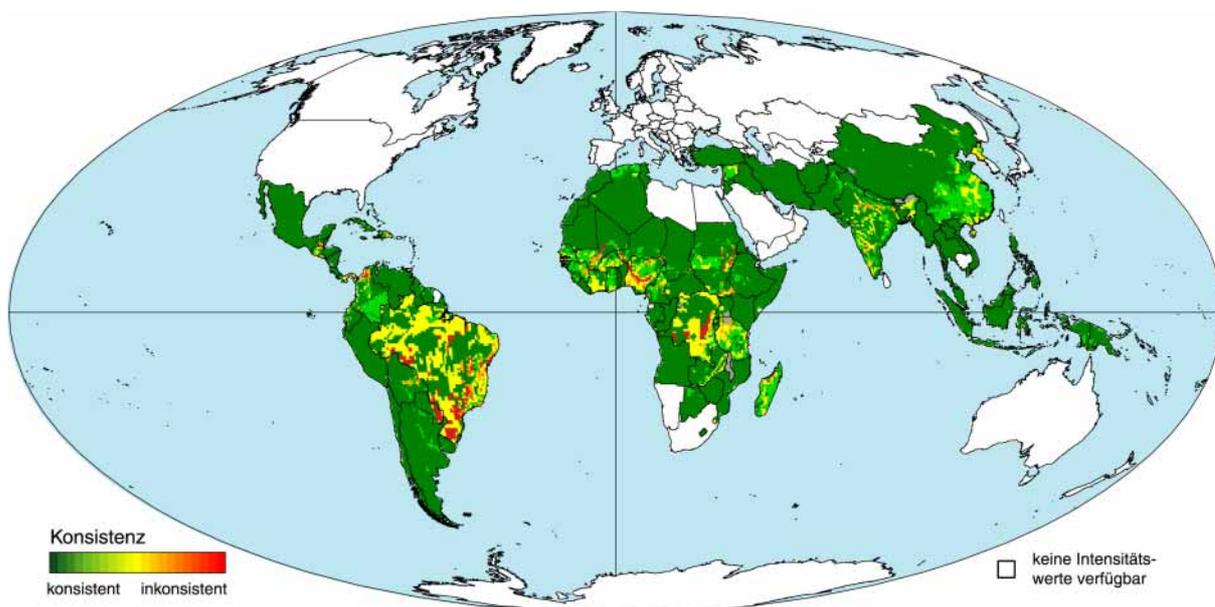


Abbildung 31: SAHEL-SYNDROM Konsistenzabschätzung. Inkonsistenzen bezeichnen Regionen für die bei niedriger oder nicht vorhandener Disposition eine Intensität indiziert wird.

Interessant bei der Interpretation der dennoch auftretenden Unstimmigkeiten ist die relativ hohe Inkonsistenz am Niger. Hier scheint die Disposition auf Grund der angenommenen Bewässerungsmöglichkeit als zu niedrig eingestuft. Die ausgedehnten Überschwemmungsgebiete sind landwirtschaftlich nur sehr eingeschränkt nutzbar. Die zu geringe Auflösung von

Armuts- und Landnutzungsdaten scheint der Grund für die Inkonsistenzregionen in der Demokratischen Republik Kongo zu sein. Des Weiteren werden der Süden und Nordosten Brasiliens, sowie Teile des Amazonasgebietes als inkonsistent angezeigt. Auch hier macht sich die schlechte Auflösung der Armutsdaten, sowie die räumliche Überlagerung mehrerer anderer Syndrome deutlich (z. B. mit Prozessen des FAVELA-SYNDROMS). In Nord-Korea liegt eine Fehldetektion vor. Hier treten alle drei Symptome des Teufelskreis mit nahezu exakt gleicher und hoher relativer Rate ( $\approx 3\%/a$ ) auf (QUESTION 1996), während die SAHEL-SYNDROM Disposition als nur gering bestimmt wird (Abbildung 28). Es kann als sicher angenommen werden, dass im Nord-Korea der 80er Jahre keine kleinbäuerliche bzw. die individuelle Subsistenz sichernde Übernutzung stattgefunden hat, sondern Im Wesentlichen fehlgehende zentrale Planung der landwirtschaftlichen Produktion zu Bodenübernutzung und Armut der ländlichen Bevölkerung geführt haben. Seit 1958 gibt es in Nord-Korea keine private Landwirtschaft mehr, etwa 90 % des Ackerlandes werden gegenwärtig von Kooperativen, der Rest von Staatsbetrieben bewirtschaftet. Die im Beobachtungszeitraum festgestellte Verarmung der Landbevölkerung, die bis zu Hungersnöten reichte, fand trotz Flächenausweitung und verstärktem Kapitaleinsatz in der landwirtschaftlichen Produktion statt (Pohl 1994). Hier liegt also der Fall vor, dass vom SAHEL-SYNDROM verschiedene Wirkungszusammenhänge im betrachteten Zeitraum zufällig eine Trenddynamik produzieren, die auch im SAHEL-SYNDROM möglich wäre. Dies zeigt noch einmal deutlich, dass die Bedingung in Gleichung 24 zwar notwendig, aber nicht hinreichend für die Existenz des SAHEL-SYNDROMS ist.

In Indien zeigt sich, dass auch an naturräumlichen Gunststandorten stellenweise das SAHEL-SYNDROM detektiert wird. Das größte zusammenhängende Gebiet dieser Art ist der Bundesstaat Assam. Obwohl hier 55 % der indischen Teeproduktion hauptsächlich auf großen Plantagen stattfindet, ist diese Nutzung sowohl vom Flächenbedarf als auch von der Anzahl der Beschäftigten her nicht dominierend. Im Wesentlichen wird die hohe regionale Bodendegradationsrate durch Reisanbau in kleinbäuerlicher Struktur (durchschnittliche Betriebsgröße  $> 1$  ha) verursacht, von dem die Versorgung des größten Teils der Bevölkerung abhängig ist. Es handelt es sich hier nicht um den SAHEL-SYNDROM Mechanismus, sondern um das ähnlich gelagerte GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM (WBGU 1997), bei dem durch das Zugänglichmachen von Hohertragsorten und Dünger die Erträge erhöht werden. Dies geschieht allerdings oft um den Preis einer nicht-nachhaltigen Bewirtschaftung und der Verarmung weiter Teile der kleinbäuerlichen Bevölkerung.

#### **5.2.5.5 Konsistenz der Intensitätsabschätzung mit Expertenbewertungen**

Mit Hilfe einiger qualitativen Experteneinschätzungen und Fallstudien wird beispielhaft die für den Zeitraum von 1985 bis 1992 berechnete Intensität des SAHEL-SYNDROMS (Abbildung 30) überprüft und diskutiert. Betrachtet man die nach Gleichung 26 berechnete Intensität zunächst in der namensgebenden Sahel-Region, so findet man hohe Intensitätswerte in Senegal, Mali, Burkina Faso, Niger und Sudan. In diesen Ländern tritt das typische Problemmuster der ariden Variante der armutsbedingten Bodendegradation auf (Krings 1993; Lachenmann 1992).

In der Dem. Rep. Kongo hat eine unausgewogene Wirtschaftspolitik während des Messzeitraums<sup>39</sup> („urban bias“, geringe Erzeugerpreise), zu einem weitgehenden Rückzug der Landbevölkerung in die Subsistenzproduktion geführt. Die soziale Lage der Mehrheit der Landbevölkerung (ca. 90 %) ist als sehr schlecht zu bezeichnen. Sie lebt in „absoluter Armut“ (Körner 1993) und überlebt nur durch informelle Ökonomie, Familiennetzwerke, etc. Die berechnete Präsenz des Syndroms deckt sich weitgehend mit der landwirtschaftlichen Nutzzone. Der tropische Regenwald wird weitgehend nicht als vom Syndrom betroffen ausgewiesen, im Gegensatz zu den Zonen des tropischen Feldbaus, der mehrheitlich subsistenzwirtschaftlich und unter ungünstigen Rahmenbedingungen betrieben wird.

Im Falle Irans bestätigt die verfügbare Expertise die Aktivität des SAHEL-SYNDROMS. Die hohe naturräumliche Disposition des Landes (> 10 % der Landesfläche ist landwirtschaftlich nutzbar), wird durch ökonomische, soziale und politische Triebkräfte noch verschärft. Schätzungen zufolge soll die Desertifikation in Iran mit einer Geschwindigkeit von etwa 100 m<sup>2</sup> pro Stunde voranschreiten. 1984 / 85 sind ca. 57 Mio. ha Boden durch Erosion verloren gegangen (WRI 1997). Rund 20 % aller Familien auf dem Land galten 1992 als extrem arm und etwa 40 % leben in ärmlichen Verhältnissen ohne eigenes Land oder mit Landbesitz > 2 ha (Internetveröffentlichung des Landwirtschaftsministeriums, 1994). Als verschärfender Expositionsfaktor kann der Krieg zwischen Iran und Irak (1980 - 1988) angesehen werden, der die iranische Wirtschaft stark belastet hat. Das Bevölkerungswachstum (1990: 3.6%) stellt einen syndrominternen Antriebsfaktor dar, der das Land vor enorme Entwicklungsprobleme stellt. Es kommt zur Migration in die Städte, allen voran Teheran. Auf Grund wirtschaftlicher und wirtschaftspolitischer Probleme stellt jedoch die städtische Ökonomie aus Industrie und Dienstleistungen aller Wahrscheinlichkeit nach in Zukunft nicht genügend Arbeitsplätze zur Verfügung, um die bereits jetzt schon hohe Arbeitslosigkeit zu beseitigen. In Iran kann damit die häufig auftretende Syndromkopplung zwischen SAHEL-SYNDROM und FAVELA-SYNDROM bestätigt werden.

Der Tschad fällt ohne Syndrompräsenz aus der Reihe der übrigen Sahel-Staaten heraus. Dies ist auf die im Messzeitraum leicht rückläufige ländlichen Armutsentwicklung zurückzuführen. Generell muss im Tschad auf die bedeutende Rolle von Krieg, Bürgerkrieg und nachfolgender politischer Instabilität für den hohen Grad an Unterentwicklung hingewiesen werden. Seit 1987 erfolgt mit Hilfe von IWF und Weltbank ein Wiederaufbauprogramm, dass als eine mögliche Ursache für die hier konstatierte Reduktion der Armut angesehen werden könnte. *Verarmung* könnte also (a) früher existent, aber stark durch Bürgerkrieg etc. bedingt sein und (b) könnte der Rückgang der ländlichen Armut durch die Beseitigung der Kriegsfolgen bedingt sein. Bei genauerer Betrachtung zeigt sich also, dass die Nicht-Detektion des Syndrommechanismus im Tschad der 80er Jahre zwar plausibel ist, aber der realen Situation nicht entspricht.

In Amazonien, speziell in den Bundesstaaten Rondônia und Mato Grosso (Sangmeister 1992), findet eine mehr oder weniger unkontrollierte Agrarkolonisation entlang vieler Er-

---

<sup>39</sup> Die hier beschriebenen Prozesse beziehen sich auf das damalige Zaire im Messzeitraum Intensitätsmessung von 1985 - 1992. Die Auswirkungen des späteren Bürgerkriegs sind hier nicht berücksichtigt.

schließungsstraßen statt. Eine der Hauptakteursgruppen sind Migranten aus anderen Bundesstaaten. Wöhlcke (1994) sieht im Amazonasgebiet einen neuen „*Pol der Unterentwicklung*“, der im Wesentlichen von Einwanderern aus dem Süden und Nordosten des Landes gespeist wird. Diese Hinweise seitens landeskundlicher Experten, deuten darauf hin, dass in den genannten Bundesstaaten das SAHEL-SYNDROM vorliegt. Diese Annahme wird durch die indizierte Syndromintensität (Abbildung 30) gut reproduziert.

Der Syndrommechanismus tritt im Osten Kalimantanans (Indonesien) und in der malaysischen Provinz Sarawak auf (Potter et al. 1995), wird aber vom vorgestellten Algorithmus nicht detektiert, da bei landesweiter Betrachtung in beiden Ländern die absolute Anzahl der Armen zurückgeht. Hier ist anzunehmen, dass bei besserer regionaler Auflösung der Armuts- und Landnutzungsdaten das Syndrom indiziert werden könnte.

Es lässt sich zusammenfassend konstatieren, dass das hier vorgestellte Verfahren zur Intensitätsmessung des SAHEL-SYNDROMS sowohl bezüglich der Konsistenz mit der Dispositionsraumbestimmung als auch bezüglich des Vergleichs mit unabhängigen Expertenabschätzungen zur Präsenz des Syndrommechanismus plausible Resultate liefert. Es ist anzunehmen, dass die auftretenden Widersprüchlichkeiten, im Falle höherer und einheitlicher räumlicher Auflösung wesentlich verringert werden. Das Problem der Formulierung einer notwendigen, aber nicht hinreichenden Bedingung zu Erstellung des SAHEL-SYNDROM Intensitätsindikators, führte nur im Fall Nord-Koreas zur Fehldetektion. Dies weist darauf hin, dass nicht mit alternativen, die gleichen Symptome und Dynamiken enthaltenden, funktionalen Mustern zu rechnen ist, welche die oben hergeleiteten dynamischen Eigenschaften des SAHEL-SYNDROM Teufelkreises „simulieren“.

## **5.3 Nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern - Das DUST-BOWL-SYNDROM**

### **5.3.1 Allgemeine Charakterisierung des Syndroms**

Dieses Syndrom ist definiert als die nicht-nachhaltige industrielle Bewirtschaftung von Böden und Gewässern. Es beschreibt die naturräumlichen Folgen einer industrialisierten Landwirtschaft, die sich im Rahmen der Entwicklung nationaler und internationaler Märkte herausgebildet hat. Hier wird der Ursachenkomplex von Umweltschädigungen durch die nicht-nachhaltige Nutzung von Böden oder Gewässern als Produktionsfaktoren für Biomasse, welche unter hohem Energie-, Kapital- und Technikeinsatz erfolgen, angesprochen. Diese Form der Landwirtschaft ist gekennzeichnet durch das Streben nach größtmöglichem Flächenertrag. Häufig werden diesem kommerziellen Ziel die mittel- und langfristig wichtigen Umweltaspekte untergeordnet, die aber auch entscheidend für den langfristigen Erhalt der Produktionsgrundlage sein können. Im Allgemeinen bilden Hohertragssorten, Agrochemikalien und Mechanisierung die Grundlage für die moderne industrielle Biomasseproduktion. Kennzeichnend für solche Agrarsysteme sind hochtechnisierte und automatisierte Betriebe mit meist nur wenigen Beschäftigten wie in der Massentierhaltung oder modernen Bewässer-

ungssystemen. Typisch für das Syndrom ist die Dominanz der nationalen bzw. regionalen Landwirtschaftspolitik durch die internationalen Märkte. Im Fall von Entwicklungsländern tritt oft eine Kontrolle von lokalem Anbau und internationalem Marktpreis durch die von den entwickelten Ländern des Nordens dominierten globalen Absatzmärkte auf. Bei der nicht-nachhaltigen Wirtschaftsweise und auf Grund der relativ großflächigen Verbreitung dieses Syndroms ergeben sich weitreichende Folgen für die Ökosphäre. Beträchtliche Umweltschäden wie die Konversion von Primärwäldern, der Verlust von Ökosystem- und Artenvielfalt, die genetische Erosion, die Freisetzung von CO<sub>2</sub>, Bodendegradation, die Belastung des Grundwassers mit Pestiziden und Nährstoffen, die Eutrophierung der Oberflächengewässer, die Übernutzung fossiler Grundwasserressourcen sowie die Veränderung der Abflussverhältnisse und der Grundwasserneubildung, treten auf.

Das DUST-BOWL-SYNDROM umfasst auch ähnlich motivierte Formen der Forstwirtschaft, wie z. B. Kahlschlag und die nachfolgend Pflanzung schnell wachsender Monokulturen ohne Rücksicht auf Verluste an Bodenqualität oder Biodiversität, oder Formen der Aquakultur, wie z. B. Lachsfarmen, in denen Eutrophierung und Zerstörung von Küstenökosystemen, als schwere Umweltfolgen auftreten (QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

### 5.3.2 Der Mechanismus des DUST-BOWL-SYNDROMS

Der Ausdruck „*Dust Bowl*“ entstand in den frühen 1930ern in den USA. Die namensgebende Region umfasst Teile der „*Great Plains*“ und reicht über das südöstliche Colorado, das südwestliche Kansas, die „*Panhandles*“ von Texas und Oklahoma, bis zum nordöstlichen New Mexico. Bis zum ersten Weltkrieg wurde die Region fast ausschließlich als Weideland genutzt. Danach, in den 20er und 30er Jahren des 20. Jahrhunderts kam es zur Einführung von Getreideanbau in großen Monokulturen mit mechanisierten Bodenbearbeitungsformen. In den folgenden Jahren der Übernutzung kam es Anfang der 30er Jahre zu einer längeren Dürre. Die in Folge der unangepassten Anbauweise (mechanisierte Bearbeitung von großen Monokulturen) offenliegenden Böden wurden durch die jährlichen Frühjahrsstürme erodiert. Die resultierenden großen Erosionsereignisse und Staubstürme hatten katastrophale naturräumliche und soziale Folgen für die Region. Tausende von Familien verloren ihren Lebensunterhalt und mussten die Region verlassen (ECB 1997). Dieses nicht-nachhaltige Zivilisation-Natur-Interaktionsmuster fungiert als namensgebendes Ereignis für das Syndrom. Doch nicht alle Erscheinungsformen des Syndroms folgen diesem Muster. Auch Formen von nicht-nachhaltig bewirtschafteten Aquakulturen sind diesem Syndrom zuzurechnen. Das DUST-BOWL-SYNDROM tritt sowohl in industrialisierten Ländern auf, in denen der Aspekt der Freisetzung von in der Landwirtschaft gebundenen Arbeitskräften durch Vergrößerung der Arbeitsproduktivität eine große Rolle spielt, als auch in Entwicklungs- und Schwellenländern, wo es im Zusammenhang mit dem Erbe des Kolonialismus zu sehen ist (vgl. allein die Rolle der „Kolonialwaren“ wie Kaffee, Tee, etc.).

Im Kontext der globalen Entwaldungsproblematik spielt das Syndrom hauptsächlich auf zwei verschiedene Arten eine bedeutende Rolle. Die erste umfasst die Konversion von bestehenden Wäldern in landwirtschaftliche Nutzflächen in Form von Äckern und Weiden. Hier sind

besonders die im Rahmen des DUST-BOWL-SYNDROMS vorgenommenen Brandrodungen zur Gewinnung landwirtschaftlicher Nutzfläche, speziell zum Anbau von „cash-crops“, zu nennen. Beispiele dafür sind auch die in der letzten Dekade Schlagzeilen machenden, außer Kontrolle geratenen Flächenwaldbrände in Indonesien, die zum Großteil durch Brandrodungen für die Anlegung von Ölpalmlantagen entstanden sind sowie die Konversion von Waldgebieten zu intensiver Weidenutzung in Lateinamerika mit einem besonderen Schwerpunkt in Amazonien. Diese Ereignisse wurden in den letzten Jahren des 20. Jahrh. in ihren Folgen durch mehrere starke ENSO-Ereignisse (El Niño Southern Oscillation), sowie durch das Ausbleiben des Monsuns oder saisonaler Regenfälle und die dadurch verursachten Dürren noch verstärkt. Die zweite Art des Syndromauftretens im Kontext der Entwaldung umfasst verschiedene Formen der kommerziellen Forstwirtschaft, wie z. B. die Pflanzung schnellwachsender Monokulturen mit nachfolgendem Kahlschlag ohne Rücksicht auf Bodendegradation oder das Ökosystem nachhaltig schädigende Biodiversitätsverluste.

### 5.3.2.1 Der Syndromkern

Voraussetzung für den kommerziellen Erfolg der landwirtschaftlichen Tätigkeiten ist das Zusammenwirken der Faktoren Kapital, „know-how“ und gesellschaftspolitischer Unterstützung, wie z. B. durch Flurbereinigung oder Maßnahmen zur Verbesserung der Standortbedingungen. Der zentrale Mechanismus des Syndroms ist demnach der fortgesetzte technologisch innovative Wettbewerb um regionale und zunehmend auch globale Märkte für Agrarprodukte (QUESTIONS 1998; WBGU 1998). Gefördert wird das Syndrom durch hohe Subventionen auf Energie, Roh- und Betriebsstoffe, wie in der Europäischen Union oder Nordamerika, oder nationale Bodenrechtsformen wie in Brasilien (siehe Kap. 5.1). Neben einer nicht-nachhaltigen Wirtschaftsweise trägt vor allem die großräumigen Flächenkonversionen von Waldgebieten zu landwirtschaftlichen Nutzflächen zu den oft beträchtlichen Umweltschäden in diesem Muster bei.

Zentrales Element des Syndrommechanismus (Abbildung 32) ist die *Intensivierung und Ausweitung der Landwirtschaft*, die über Auswirkungsgarben in die Pedosphäre (*Überdüngung* und durch die Bewässerung hervorgerufene *Versalzung*), in die Hydrosphäre (*Veränderung der Wasserqualität* durch die Einleitung von Düngemitteln und Pestiziden, einer *Veränderung der lokalen Wasserbilanz* durch die Änderung der Vegetationsdecke, sowie einer *Veränderung des Grundwasserspiegels* durch die Bewässerung), in die Atmosphäre (ein *Verstärkter Treibhauseffekt* durch die Emission von treibhauswirksamen Gasen wie CO<sub>2</sub> und Methan) und in die Biosphäre (eine *Degradation natürlicher Ökosysteme* durch Fragmentierung und Auswirkungen von Düngung und Pestizid- und Herbizidgaben sowie die *Konversion natürlicher Ökosysteme* für die Gewinnung neuer Nutzflächen) zu einer Degradation der natürlichen Produktionsgrundlagen führen. Angetrieben werden diese Prozesse durch ökonomische Entwicklungen, wie *Industrialisierung* und *Globalisierung der Märkte*, die in den Entwicklungs- und Schwellenländern mit einer *Anspruchssteigerung* und der *Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile* begleitet werden (WBGU 1998; QUESTIONS 1998).

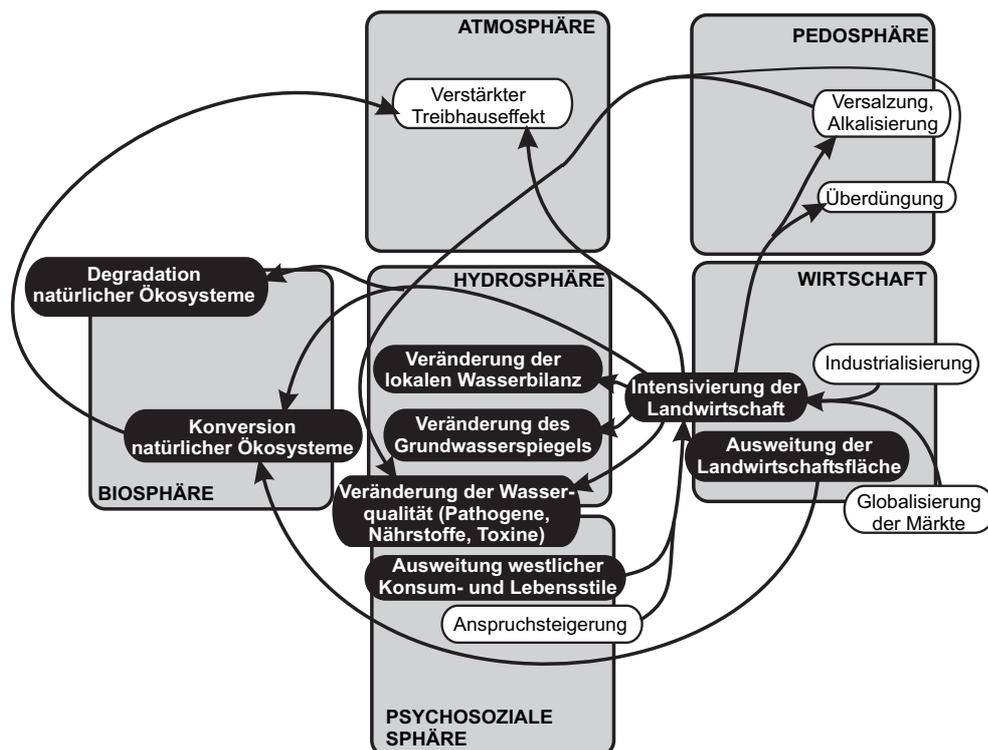


Abbildung 32: Kern des DUST-BOWL-SYNDROMS mit wichtigen negativen naturräumlichen Folgen. Schwarz unterlegte Symptome wurden für die Intensitätsabschätzung verwendet.

Wirtschaftliche Interessen, repräsentiert durch die *Bedeutungszunahme nationaler wirtschaftspolitischer Strategien*, die *Globalisierung der Märkte*, *internationale Verschuldung* und *Industrialisierung* der Landwirtschaft, führen gerade in Entwicklungs- und Schwellenländern im Zusammenspiel mit einer *Anspruchsteigerung* und der *Ausbreitung westlicher Konsum- und Lebensstile* zu einer *Intensivierung* und *Ausweitung der Landwirtschaft*. Diese Verstärkung landwirtschaftlicher Aktivität läuft oftmals unter Einwirkung von *technologischem Fortschritt* und *Wissenstransfer (Biotechnologie, Mechanisierung)* ab. Die vielfältigen dabei auftretenden Schädigungen reichen im Bereich der Hydrosphäre von der *Veränderung der lokalen Wasserbilanz*, der *Veränderung des Grundwasserspiegels* zur *Veränderung der Wasserqualität*, was als direkte Folgen zu nachfolgenden *Gesundheitsschäden* über Pathogene und Toxine, zu einer *Süßwasserverknappung* und einer *Veränderung der Stofffrachten* führt. Weitere Folgen liegen im Bereich der Böden, der eigentlichen Produktionsgrundlage der Landwirtschaft. Durch den übermäßigen Einsatz von Düngemitteln kommt es zu einer *Kontamination* und *Überdüngung* der Böden. Im Zuge des verstärkten Maschineneinsatz bei Bodenbearbeitung und Ernte kommt es zur großflächigen *Bodenverdichtung*, *Erosion* sowie einem damit einhergehenden *Fertilitätsverlust*. Die durch die Intensivierung verursachte verstärkte Bewässerung führt zur *Versalzung* der Böden, mit mittel- bis langfristigen Verlust der Anbaufläche. Für die Entwaldungsproblematik sind die wichtigsten biosphärischen Auswirkungen wie *Konversion* und *Degradation von Ökosystemen*, die *zunehmende Übernutzung der biologischen Ressourcen* und die *Degradation natürlicher Ökosysteme* als direkte Folgen zu nennen. Diese Formen der Schädigungen, Störungen und sogar Zerstörungen von Ökosystemstruktur und Zusammensetzung führen zu Gen- und Artenverlusten und einem *Verlust von biosphärischen Senken*. Die durch die Brandrodung

aus Böden freigesetzten und durch die Massentierhaltung erzeugten, treibhauswirksamen Gase (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>) führen zu einer *Verstärkung der biosphärischen Quellen*. Zusammen tragen diese Symptome zu einem *verstärkten Treibhauseffekt* und damit zum *globalen und regionalen Klimawandel* bei. Ein weiterer, immer häufiger zu beobachtender Trend ist eine verstärkte *Resistenzbildung* durch die hohen Pestizid- und Herbizidgaben.

Insgesamt führen diese vielfältigen Schädigungen der Ökosphäre zu einem *Rückgang der Nahrungsmittelproduktion*, was der ursprüngliche Intention einer *Steigerung* entgegenläuft. Ein weiteres kontraproduktives Element sind die *Gen- und Artenverluste*, die mögliche Entwicklungen in der Verwertung der genetischen Ressourcen für *Fortschritte in der Bio- und Gentechnologie* verhindern. Die negativen Auswirkungen im Bereich der Hydrosphäre führen auch zu *zunehmenden Gesundheitsschäden* beim Menschen (Alloway & Ayres 1993). Ein Beispiel ist die Anreicherung des Insektizids DDT<sup>40</sup> in der Muttermilch, was zum Verbot des Einsatz dieser Mittel in den meisten entwickelten Ländern führte. Allerdings ist auch weiterhin die Produktion dieser Substanzen, sowie der Export zum Einsatz im „cash-crop“ Anbau in Entwicklungs- und Schwellenländern, bei uns erlaubt. Über den Import von so erzeugten Nahrungsmitteln aus diesen Ländern schließt sich dann auch dieser Kreis wieder und die Insektizide kehren an ihren Produktionsort zurück.

### 5.3.3 Dispositionsmessung

Zur Abschätzung der gefährdeten Regionen wurde eine der Indizierung der Disposition entwickelt, die auf globalen Abschätzungen von Gunststandorten (Cassel-Gintz et al. 1997) und der für die landwirtschaftliche Nutzung wesentlichen Erreichbarkeit naturräumlicher Ressourcen (Cassel-Gintz 1997; Kap. 5.1) beruht. Als Grundannahme wird davon ausgegangen, dass dem Handeln der Akteure ein rationales, gewinnorientiertes Verhalten zu Grunde liegt. Dies verlangt die Auswahl landwirtschaftlicher Gunststandorte um die Erträge zu maximieren sowie eine gute Erreichbarkeit der Nutzflächen um die Transportkosten zu potentiellen Märkten zu minimieren. Ausgehend von dem im Zuge der SAHEL-SYNDROM Disposition (Kap. 5.2) beschriebenen Modell zur Pflanzenproduktion (Lüdeke et al 1999), werden Zugehörigkeitswerte  $\mu_{hoch}^{NPP}$  für die „günstigen klimatischen Bedingungen“, zur Pflanzenproduktivität bestimmt (Abbildung 33a). Diese werden mit den „fruchtbaren Böden“, d. h. Böden mit hoher Fertilität (Abbildung 33b), durch min-max-Kompensations-Operator (K<sub>0,5</sub>-Operator) zu den „günstigen Wachstumsbedingungen“,  $\mu_{gut}^{Wachstum}$ , verknüpft (Gleichung 27).

$$\begin{aligned} \mu_{gut}^{Wachstum} &= \mu(\text{hohe NPP} \wedge \text{hohe Fertilität}) \\ &= K_{0,5}(\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}) \\ &= (\min\{\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}\})^{1-0,5} \cdot (\max\{\mu_{hoch}^{NPP}, \mu_{hoch}^{Fertilität}\})^{0,5} = \sqrt{\mu_{hoch}^{NPP} \cdot \mu_{hoch}^{Fertilität}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 27}$$

Der K<sub>0,5</sub>-Operator wurde gewählt um auszudrücken, dass in Kombinationen, in denen einer der beiden Komponenten Klima oder Bodenfertilität relativ schlecht bewertet ist, dieses auf Grund der syndromtypischen kapitalintensiven Anbauweise kompensiert werden kann.

<sup>40</sup> DDT = Dichlordiphenyl Trichlorethan (C<sub>14</sub>H<sub>9</sub>Cl<sub>5</sub>)

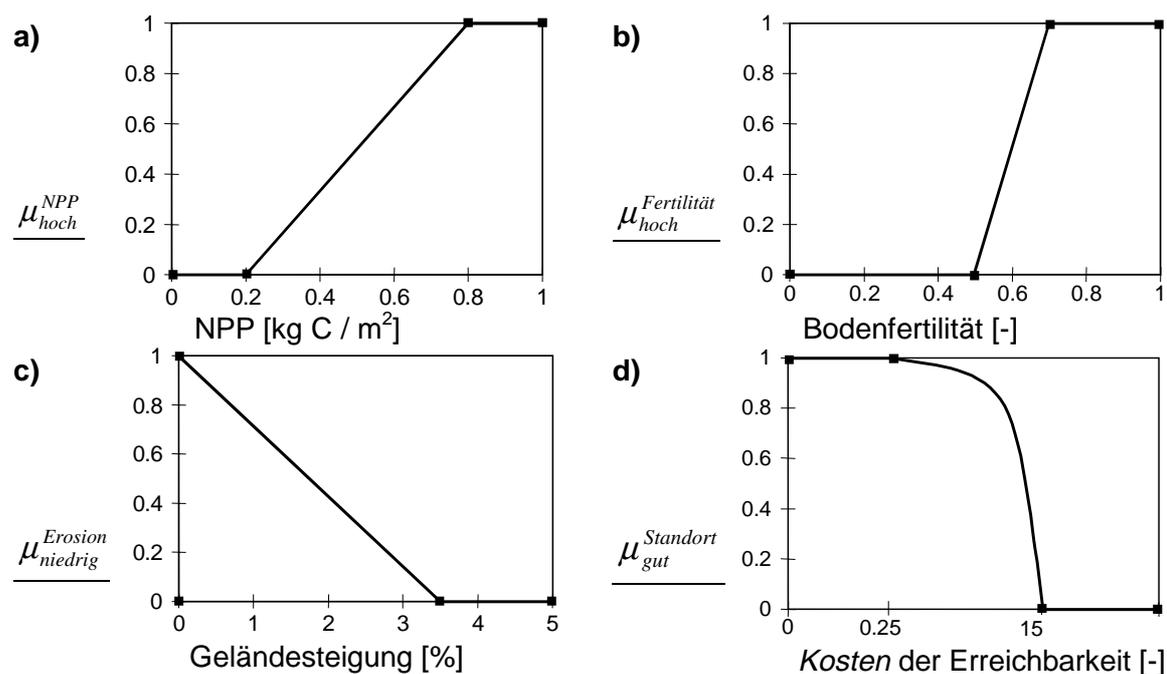


Abbildung 33: Fuzzyfizierung der Ausgangsvariablen für die günstigen, naturräumlichen Landwirtschaftsbedingungen zur Bestimmung der DUST-BOWL-SYNDROM Disposition.

Die „günstigen Wachstumsbedingungen“ werden durch den  $K_{0,5}$ -Operators mit einem „niedrigen Erosionsrisiko“, (Abbildung 33c) verbunden (Gleichung 28), um die Zugehörigkeit zur Menge der potentiellen „günstigen Landwirtschaftsstandorte“,  $\mu_{gut}^{Landwirtschaft}$ , zu identifizieren.

$$\begin{aligned} \mu_{gut}^{Landwirtschaft} &= \mu (\text{Wachstum} \hat{\wedge} \text{niedrige Erosion}) \\ &= K_{0,5} (\mu_{gut}^{Wachstum}, \mu_{niedrig}^{Erosion}) = \sqrt{\{\mu_{gut}^{Wachstum} \cdot \mu_{niedrig}^{Erosion}\}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 28}$$

Die Zugehörigkeit zur Menge der „gut erreichbaren Standorte“,  $\mu_{gut}^{Standort}$ , die potentiell für eine landwirtschaftliche Nutzung in Frage kommen, wurden aus einer topographisch gewichteten Kostenoberfläche zu vorhandener Verkehrsinfrastruktur erzeugt (Kap. 5.1). Die landwirtschaftlichen Gunststandorte,  $\mu_{gut}^{Landwirtschaft}$ , werden mit einem min-max-Kompensations-Operator ( $K_{0,5}$ -Operator; Gleichung 29) mit den „gut erreichbaren Standorte“, (Abbildung 33d) zur Zugehörigkeit zur Menge der „hohe Disposition“ für das DUST-BOWL-SYNDROM,  $\mu_{hoch}^{Disposition}$ , verknüpft.

$$\begin{aligned} \mu_{hoch}^{Disposition} &= \mu (\text{gute Landwirtschaft} \hat{\wedge} \text{gute Standorte}) \\ &= K_{0,5} (\mu_{gut}^{Landwirtschaft}, \mu_{gut}^{Standort}) = \sqrt{\{\mu_{gut}^{Landwirtschaft} \cdot \mu_{gut}^{Standort}\}} \end{aligned} \quad \text{Gleichung 29}$$

Der gesamte Prozess ist nochmals in dem fuzzy-logischen Bewertungsbaum zur Erzeugung einer DUST-BOWL-SYNDROM Disposition in Abbildung 34 dargestellt.

Das Resultat in Abbildung 35 zeigt die von dem DUST-BOWL-SYNDROM gefährdeten Regionen an. Solche Regionen sind die Regenwaldgebiete Brasiliens, Venezuelas, der mittelamerikanischen Staaten, Mexikos und Papua-Neuguineas. In Afrika sind es vor allem die Küstenregionen südlich des Sahel in Nigeria, Ghana und der Elfenbeinküste sowie Teile des Kongobeckens. Weiterhin drohen einige Länder, im Wesentlichen Indien, Indonesien,

Bangladesch, Sri Lanka, Vietnam und Myanmar, die als vom GRÜNE-REVOLUTION-SYNDROM betroffen identifiziert sind (Lüdeke 1997; WBGU 1997), in das DUST-BOWL-SYNDROM überzugehen.

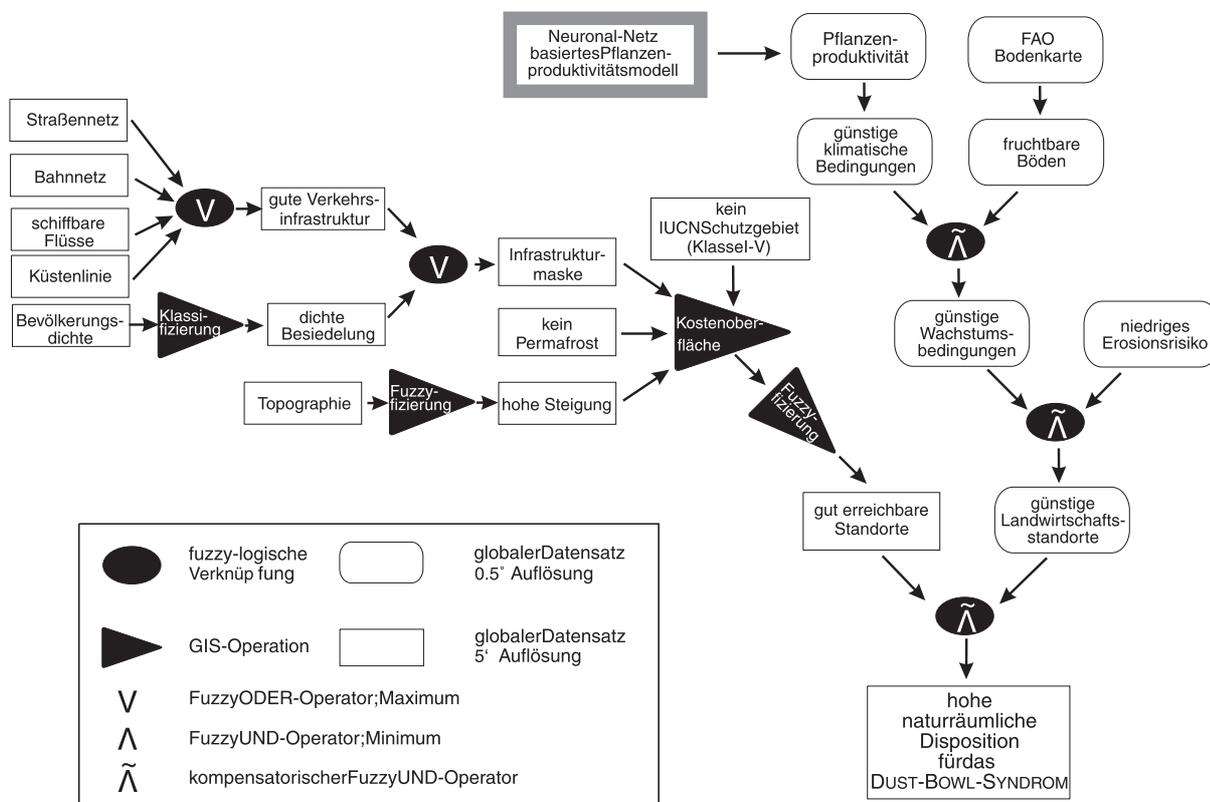


Abbildung 34: Aus quantitativen Modelldaten und qualitativen, fuzzy-logischen Variablen erzeugter Bewertungsbaum zur Erzeugung einer DUST-BOWL-SYNDROM Disposition.

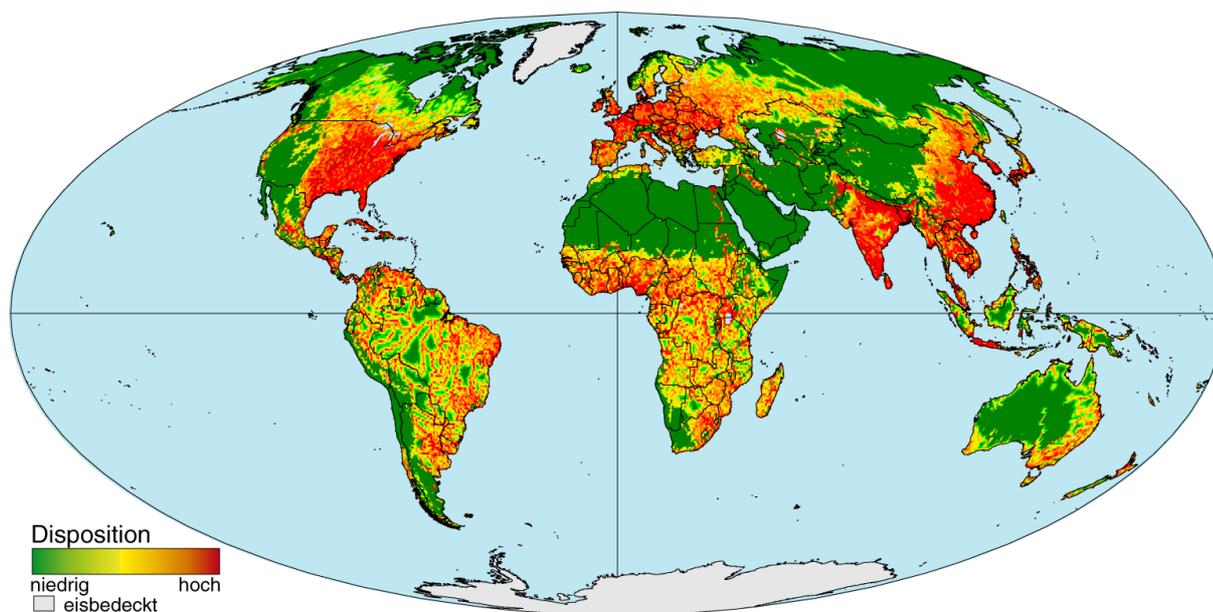


Abbildung 35: Disposition gegenüber dem DUST-BOWL-SYNDROM (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

### 5.3.4 Intensitätsbestimmung

Ein komplexer Indikator, welcher die Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS abschätzt, wird in WBGU (1998) vorgestellt. Basierend auf verschiedenen Basisindikatoren, die den

- 1) Grad der Degradation durch Ackerbau, den
- 2) Grad der Degradation durch Viehzucht, sowie den
- 3) Grad der landwirtschaftlichen Arbeitsproduktivität und der Weltmarktorientierung angeben,

wird ein Intensitätsmaß abgeschätzt. Trifft einer der beiden ersten Punkte und gleichzeitig der dritte Punkt vollständig zu, indiziert dies ein massives Auftreten des Syndrommechanismus (WBGU 1998; QUESTIONS 1998). Auch in diesem Fall wurden die das Syndrom beschreibenden qualitativen Zusammenhänge mit Hilfe des Fuzzy-Logik-Konzept formalisiert. Die im Detail verwendeten Indikatoren und deren Verknüpfung sind in Abbildung 36 in Form eines hierarchischen Fuzzy-Logik-Bewertungsbaumes dargestellt.

Eine „hohe ackerbaulichen Schädigung“,  $\mu_{hoch}^{Ac\ ker}$ , kann als gegeben angesehen werden, wenn entweder der hoher Grad der Mechanisierung, ein hoher Grad der Chemisierung oder eine starke Bewässerung der landwirtschaftlich genutzten Flächen vorliegt (QUESTIONS 1998; WBGU 1998; Gleichung 30).

$$\begin{aligned}\mu_{hoch}^{Ac\ ker} &= \mu (Mechanik \vee Chemie \vee Bewässerung) \\ &= \max \left\{ \mu_{hoch}^{Mechanik}, \mu_{hoch}^{Chemie}, \mu_{hoch}^{Bewässerung} \right\}\end{aligned}\quad \text{Gleichung 30}$$

Mit Hilfe von geeigneten Indikatoren für die *Industrialisierung* und die *Anspruchssteigerung*, zweier antreibender Elemente des syndromspezifischen Beziehungsgeflechts, wird die Zugehörigkeit zu „Dust Bowl“-typischen Ländern,  $\mu^{Dust-Bowl}$ , bestimmt. Ausgehend von der *Konversion und Degradation natürlicher Ökosysteme* und der *Übernutzung natürlicher Ökosysteme* wird ein Indikator für die Zugehörigkeit zur Menge der von „hoher Weideschädigung“,  $\mu_{hoch}^{Weide}$ , betroffenen Regionen bestimmt. Hat eine Region nun entweder eine „hohe ackerbaulichen Schädigung“, und entspricht das Land dem „Dust Bowl“ Profil, oder die Region hat eine „hohe Weideschädigung“, und gleichzeitig ein „Dust Bowl“ Profil, so ist die Zugehörigkeit zur Menge „hohe Intensität“ des DUST-BOWL-SYNDROM gegeben. Diese Argumentation wird mit einem fuzzy-ODER Operator (Addition; Gleichung 31) umgesetzt, was zur Folge hat dass sich die Intensitäten für die Weide- und Ackerausprägung des Syndroms quasi addieren. Ist also an einem Ort sowohl eine Intensität des Syndroms in Bezug auf Weidewirtschaft als auch auf Ackerbau gegeben, so ist diese Rasterzelle stärker von dem Syndrom betroffen, als eine, in der nur jeweils eine Ausprägung aktiv ist.

$$\begin{aligned}\mu_{hoch}^{Intensität} &= \mu (Acker \wedge "Dust - Bowl") \vee \mu (Weide \wedge "Dust - Bowl") \\ &= \left[ \min \left\{ \mu_{hoch}^{Ac\ ker}, \mu^{Dust-Bowl} \right\} + \min \left\{ \mu_{hoch}^{Weide}, \mu^{Dust-Bowl} \right\} \right] / 2\end{aligned}\quad \text{Gleichung 31}$$

Um das Resultat auf die tatsächlich nutzbaren Landwirtschaftsflächen zu beschränken, wird die Disposition mit einer Maske landwirtschaftlicher Nutzflächen verschnitten. Aus einem globalen Modell der terrestrischen biologischen Produktivität (CARAIB; Warnant et al. 1995) wird für jedes Rasterelement (0.5°x 0.5°) der Flächenanteil Ackerfläche und Weidefläche

bestimmt. Je höher der Anteil landwirtschaftlicher Nutzfläche in einem Rasterelement, desto stärker wird die Intensität auf diese Zelle abgebildet. Das Resultat ist in der Karte der derzeitigen Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (Abbildung 37) dargestellt.

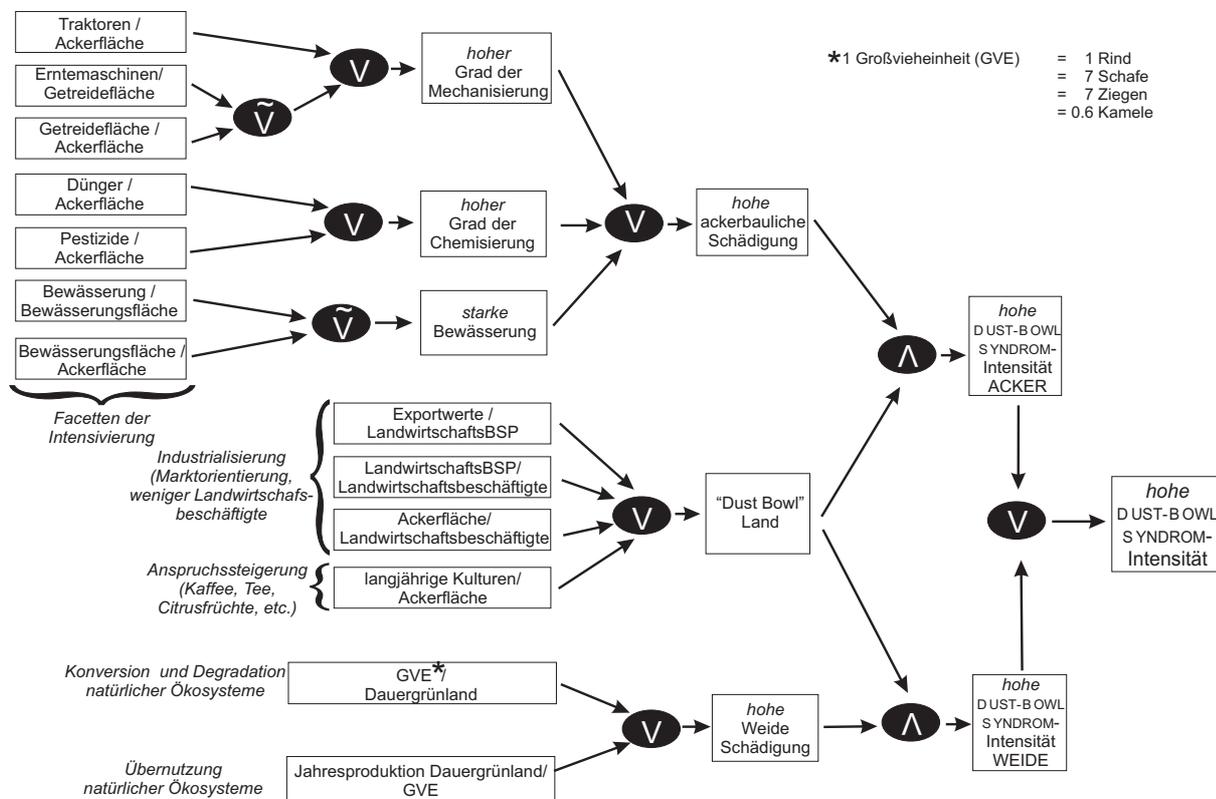


Abbildung 36: Fuzzy-logischer Bewertungsbaum zur Bestimmung der Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

### 5.3.4.1 Diskussion des berechneten Intensitätsmusters

In Nordamerika erscheint neben der Ostküste vor allem auch der mittlere Westen und die namensgebende Dust-Bowl Region als stark von dem Syndrommechanismus befallen. Dieser Gürtel landwirtschaftlicher Nutzfläche erstreckt sich bis in die südlicheren Bereiche der kanadischen Prärieprovinzen. Ein weiter Gürtel hochintensiver Landwirtschaft in dem das Syndrom aktiv ist, erstreckt sich vom südlichen Ontario, entlang der großen Seen und des St. Laurent Stroms bis zu den Atlantikprovinzen. An der Westküste finden sich einige Regionen mit einer hohen Intensität, die Kalifornische Küstenregion, mit ihrem hohen Bewässerungsbedarf, der trockene Teil des Nordwestens der USA, und das kanadische *Okanagan Valley*, der Obstgarten der kanadischen Westküste mit intensivem Anbau am Rande der klimatischen Möglichkeiten.

In Lateinamerika werden vor allem die Pampa, der *Gran Chaco*, das Tiefland des *Rio Paraná* bis zum *Rio de la Plata* als stark vom Syndrom betroffen ausgewiesen. In Brasilien sind es die südlichen Landesteile und der trockene Nordosten. Hanglagen der Westkordillere Kolumbiens und Ecuadors werden mit einer mittleren Intensität indiziert. In den Mittelamerikanischen Staaten erscheinen vor allem die von den großen amerikanischen Firmen

(Dole, United Fruit, etc.) für Monokulturplantagen genutzten Hanglagen als hoch intensiv. Diese Regionen zeichnen sich vor allem durch hohe Erosionsraten aus.

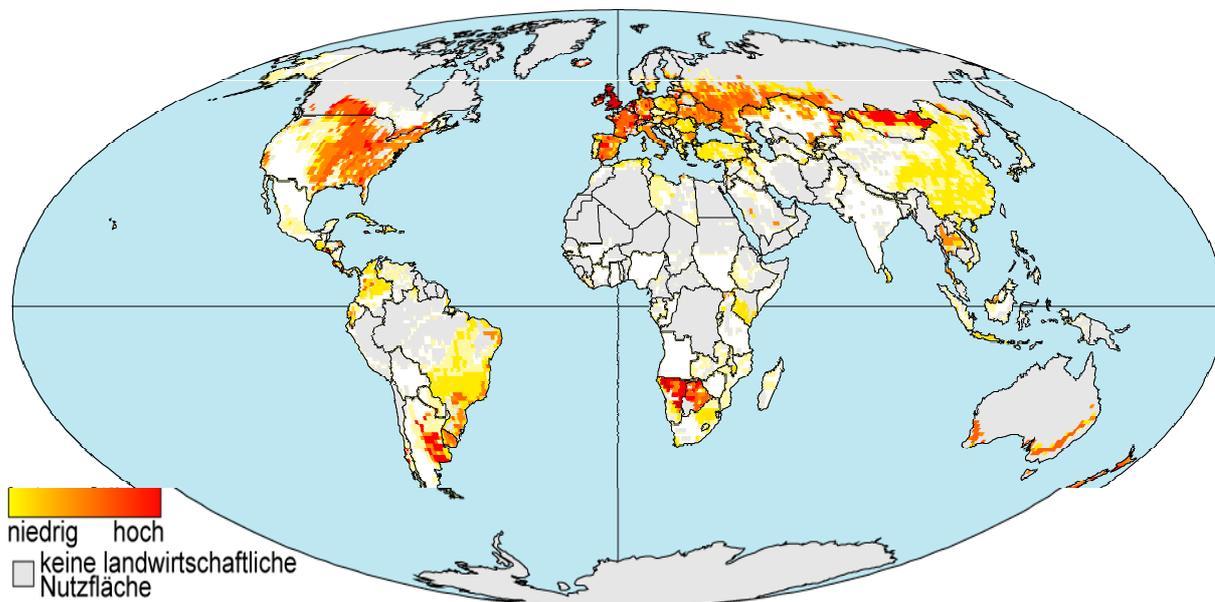


Abbildung 37: Intensität des DUST-BOWL-SYNDROMS (modifiziert nach QUESTIONS 1998; WBGU 1998).

Europa erscheint mit Ausnahme von Portugal, der Tschechischen Republik, den nördlichen Waldregionen Fennoskandiens, Rumänien und dem ehemaligen Jugoslawien mit einer hohen Intensität. Die restlichen landwirtschaftlich genutzten Regionen erscheinen mit einer mittleren Intensität. Vor allem in den Ländern der EU gibt es erhebliche Probleme mit Überdüngung und dem erhöhten Eintrag von Nährstoffen und Toxinen aus Pestiziden und Insektiziden. Im Zuge von Flurbereinigung und der monokulturellen Anbauweise kommt zu Biodiversitätsverlusten und Bodendegradation.

Im westlichen Teil Asiens ist das Syndrom entlang des Schwarzerdegürtels der GUS Staaten und der kasachisch-chinesischen Grenzregion aktiv. Als sehr stark vom Syndrom betroffen erscheinen der nördlichen Teil der Mongolei und einige Regionen entlang der russisch-chinesischen Nordgrenze. Das landwirtschaftlich stark genutzte Chinesische Tiefland wird mit einer mittleren Intensität angezeigt.

In südlichen Afrika erscheinen das Ovamboland und Okavangoland Namibias sowie das artenreiche Okavangobecken Botswanas als stark vom Syndrom befallen. Ansonsten taucht nur ein Teil des ostafrikanischen Berglandes mit einer niedrigen bis mittleren Intensität auf.

In Australien erscheinen die Anbauflächen entlang der Darlingkette, nördlich von Perth, sowie die Anbauggebiete an der Ostküste, vor allem auf der Westseite des Australischen Berglands, sowie Neuseeland als stark von dem DUST-BOWL-SYNDROM befallen.

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Indizierung der Stärke dieses Musters noch verbesserungswürdig ist. Es erscheint ratsam für zukünftige Untersuchungen das Syndrom stärker in Subtypen zu zerlegen, die dann gesondert besser indiziert werden könnten. Eine Trennung in typische Subsyndrome für den „cash-crop“ Anbau in Entwicklungs- und

Schwellenländern, für die stark mechanisierte, auf Monokulturen ausgerichtete Ausprägung der Nordamerikanischen Landwirtschaft sowie für die Subventionslandwirtschaft der EU bietet sich hier als eine funktionale Teilung an.

#### **5.4 Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke - Das MASSENTOURISMUS-SYNDROM**

Die Erschließung und Schädigung von Naturräumen für Erholungszwecke wird im Rahmen des Syndromkonzepts als das MASSENTOURISMUS-SYNDROM bezeichnet. Es werden Umweltschäden beschrieben, die durch die stetige Zunahme des globalen Tourismus in den letzten Dekaden hervorgerufen wurden. Wirksame Triebkräfte in diesem Muster sind vor allem steigende Einkommen in den Industrieländern sowie sinkende Transportkosten bei gleichzeitig immer kürzer werdenden Arbeitszeiten und einem verändertem Freizeitverhalten (WBGU 1997). Brennpunkte sind die touristischen Küstengebiete und Bergregionen. Hauptfolgen dieses Syndroms sind die Zerstörung von naturnahen Flächen durch den Bau touristischer Infrastruktur sowie die Schädigung oder gar der Verlust von fragilen Berg- und Küstenökosystemen. Zudem trägt die stark zunehmende Anzahl von Flugfernenreisen in den letzten Jahren stark zur Belastung der Atmosphäre durch Luftschadstoffe bei.

Ein Beispiel für die Entwaldungskomponente des MASSENTOURISMUS-SYNDROMS stellt die Rodung von Bergwäldern für die Ski- und Freizeitindustrie in den Alpen dar. Wie sich in den letzten Jahren immer stärker zeigt, treten hier starke Folgeschäden durch die Entfernung der Vegetationsdecke und durch die Bodenverdichtung auf. Es kommt verstärkt zu Erosionserscheinungen, Muren nach Starkregenereignissen und, auf Grund der fehlenden Schutzfunktion der Bergwälder, zu einer weiträumigen Lawinengefährdung in den Tourismuszentren der alpinen Bergtätern. Neben diesen primär auf den Menschen einwirkenden Folgen der Entwaldung, tritt auch eine nicht zu vernachlässigende Gefährdung der Artenvielfalt in Folge einer Veränderung der Vegetationsdecke auf. Diese Habitatverluste wurden vor allem in tropischen Ferienregionen beobachtet, wo große Waldgebiete für die Errichtung touristischer Infrastruktur geopfert wurden (z. B. Dominikanische Republik oder Costa Rica).

#### **5.5 Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten - Das ARAL-SEE-SYNDROM**

Das ARALSEE-SYNDROM beschreibt Umweltschädigung durch zielgerichtete Naturraumgestaltung im Rahmen von Großprojekten. Das Scheitern großflächiger, umfassender Umgestaltungen von naturnahen Bereichen, bis hin zu ganzen Landschaften, steht im Mittelpunkt dieses Syndroms. Mit hohem Kapitaleinsatz wird bewusst und planmäßig in die Natur eingegriffen, oftmals unter ungenügender Berücksichtigung der lokalen Gegebenheiten. In der Regel geht es dabei um die Erreichung strategischer Ziele, die im nationalen oder auch

internationalen Rahmen festgelegt und dann mit Hilfe einer zentralen Planung in Form von Großprojekten umgesetzt werden. In vielen Fällen handelt es sich dabei um die Errichtung großtechnischer Anlagen (Staudämme, Bewässerungsprojekte), bei denen auf Grund von mangelndem Systemverständnis die Auswirkungen nicht genügend bedacht werden, was zu Umweltdegradationen und oftmals auch zu erheblichen sozialen Verwerfungen führen kann. Es gibt allerdings aber auch Ausprägungen, bei denen ohne die Errichtung von Großbauwerken eine Landschaft nach Effizienz Gesichtspunkten an die mechanisierte landwirtschaftliche Nutzung angepasst wird, z. B. durch großflächige Flurbereinigung. Das gemeinsame Element ist die Unfähigkeit der Planer, die Folgen von Großprojekten einzuschätzen bzw. sie zu beherrschen. Am Aralsee ist dieses Syndrom in voller Ausprägung zu beobachten. Dieser See war einmal der viertgrößte Süßwassersee der Erde. In einer ehemals fruchtbaren, wald- und artenreichen Region wurden Fischfang und Landwirtschaft betrieben. Seit 30 Jahren werden die Zuläufe des Aralsees angezapft (nur noch etwa 10 % erreichen den See) und einem gigantischen Bewässerungssystem der Baumwollproduktion zugeführt. Die Oberfläche des Aralsees schrumpfte um die Hälfte, das Volumen ging um zwei Drittel zurück. Der ehemalige Seeboden ist nun eine Salzwüste, von welcher der Wind jährlich 40 bis 150 Mio. t Salz und Sand auf das fruchtbare Land des Amu Darya Delta verfrachtet. Sämtliche 24 Fischarten sind heute ausgestorben, 60.000 Fischer haben ihre Beschäftigung verloren. Für eine nur kurzfristig mögliche Ausweitung der landwirtschaftlichen Produktion wurden durch die ökologischen Folgeschäden weite Teile der Region verwüstet. Als weitere Beispiele lassen sich hier auch große Staudammprojekte anführen (z. B. Hoover, Assuan, Narmada, Bakun Damm, das Drei Schluchten Projekt am Yang Tse), bei denen vielfach ein kurzfristiges Denken dazu führte, dass die sozialen und ökologischen Auswirkungen fehlerhaft eingeschätzt, beziehungsweise ganz vernachlässigt wurden (WBGU 1997).

Dieses Syndrom trägt auf drei verschiedenen Arten Beiträge zur Entwaldungsproblematik bei: Als erstes ist der Einfluss über die direkte Überschwemmung von Wäldern zu nennen. Im Allgemeinen werden die im Überschwemmungsbereich des Staudamms liegenden Wälder nicht oder nur teilweise gerodet. Über die verrottenden Holzreste gelangen hohe treibhausrelevante Methanemissionen in die Atmosphäre (WBGU 1997; QUESTIONS 1998). Der zweite maßgebliche Beitrag erfolgt über die Änderungen der Ökosystemkomponenten, wodurch große Eingriffe in den lokalen Wasserhaushalt, z. B. Wasserableitungen für die Bewässerungslandwirtschaft, Änderungen der lokalen Vegetationsdecke hervorgerufen werden. Im Falle einer Verschlechterung der Wachstumsbedingungen von Wäldern, z. B. der Veränderung des Grundwasserspiegels, erfolgt eine Vegetationsänderung über die schleichende Umwandlung von Wäldern hin zu einer Steppenvegetation. Die dritte, vor allem im tropischen Lateinamerika anzutreffende Form der Entwaldung durch das ARAL-SEE-SYNDROM, umfasst die Erschließung bisher nicht oder nur schwer erreichbarer Regionen, über den zur Errichtung der Staudämme notwendigen Straßenbau (WBGU 1997; QUESTIONS 1998; Cassel-Gintz et al. 1999). Wie bereits im Rahmen des RAUBBAU-SYNDROMS beschrieben führt die Erschließung einerseits zu einem Zuzug von landlosen Kleinbauern, die über Brandrodungswanderfeldbau Wälder zerstören, andererseits aber auch zur Konversion von Wäldern als Spekulationsobjekte durch reiche Großgrundbesitzer.

So erhält man nach brasilianischen Recht durch die Konversion von Wälder zur land- oder viehwirtschaftlichen Nutzung einen Landtitel für die „kultivierten“ neuerschlossenen Flächen. Dadurch werden große Regionen Brasiliens in immer stärkeren Maße durch einige wenige Großgrundbesitzer kontrolliert. Das ARAL-SEE-SYNDROM wirkt in diesem Zusammenhang als ein Auslöser, also als ein Expositionsfaktor, für das SAHEL-SYNDROM, das die Transformation geschlossener Waldflächen durch die die Ausweitung von Subsistenzlandwirtschaft unter ländlichem Armuts- und Bevölkerungsdruck beschreibt, und für das DUST-BOWL-SYNDROM, dass die großflächige Umwandlung von Waldflächen zu landwirtschaftlichen Nutzflächen mit anschließender gewinnorientierter „Cash-Crop-“ (z. B. Ölpalmpflanzungen) oder intensiver Weidenutzung beschreibt.

## **5.6 Umweltdegradation durch weiträumige diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen - Das HOHER-SCHORNSTEIN-SYNDROM**

Das Syndrom beschreibt eine anthropogenen Nutzung der Ökosphäre als Senke für verteilbare Schadstoffe. Es beschreibt die Fernwirkung von stofflichen Emissionen nach Entsorgung in die Umweltmedien Wasser und Luft (WBGU 1997). Die Umweltdegradation erfolgt über weiträumige, diffuse Verteilung von meist langlebigen Wirkstoffen mit der Intention einer Diffusion der Schadstoffe in den Umweltmedien Luft und Wasser, wodurch die Toxizität auf eine unschädliches Maß reduziert werden soll. So werden durch Schornsteine Luftschadstoffe nicht beseitigt, sondern das Problem lediglich auf andere, industriefernere Bereiche verlagert. Dies gilt in einem ähnlichem Maße für die „Entsorgung“ von Produktionsrückständen und Schadstoffen über den Abwasserpfad und vor allem die Emission von Treibhausgasen. Die emittierten Schadstoffe wirken dann in anderen Regionen direkt auf Lebensgemeinschaften oder reichern sich im Ökosystem an. In der Umweltwirkung kann grundsätzlich unterschieden werden, ob die Schadstoffe nach Verteilung in der Umwelt direkte Wirkungen auf die Lebensgemeinschaften entfalten, oder ob sie sich über Bioakkumulation anreichern. Da dieses Muster weltweit verbreitet ist und für verschiedene Umweltmedien gleichzeitig gilt, kommt ihm eine relativ hohe globale Relevanz zu. Beispiele sind die Verteilung von Luftschadstoffen durch den Bau von hohen Schornsteinen oder auch die Einleitung von flüssigen Schadstoffen in Meere oder Fließgewässer.

Diese Prozesse führten im Bereich der Mittel- und Osteuropäischen Wälder, aber auch in Industrieregionen Chinas und Russlands (z. B. die Region Norilsk) zu großen Schäden. Dabei werden Ökosysteme über eine Verminderung der biologischen Vielfalt im Zug von Schwefelemissionen in ihrer ökologischer Struktur und Leistung beeinträchtigt, was zu einer Reduktion von Wäldern und Feuchtgebieten führt. Dieses, in der Öffentlichkeit als „Saurer Regen“ bekannte Phänomen (EK 1994), führte Anfang der 70er Jahre zu einem ersten spürbaren Erwachen des Umweltschutzgedankens in Deutschland. Die Bilder über die kahlen Gipfel des Erzgebirges hatten eine signalgebende Wirkung auf die Perzeption von Umwelt in der deutschen Öffentlichkeit. Die Waldschädigungen, die durch dieses Syndrom hervorgerufen werden, erfolgen vor allem über die Bioakkumulation von Schwefel- und Stickstoffverbindungen aus dem Ferntransport von Schadstoffen. Entscheidend ist hier das

Phänomen der *Bodenversauerung*. Säuren und Säurebildner, die in Folge von Troposphärenverschmutzung und der Verschmutzung von Fließgewässern durch Schwefel- und Stickstoffverbindungen eingetragen werden, bewirken im Boden Nährstoffverluste durch verstärkte Auswaschprozesse und die Freisetzung von ökotoxischen Stoffen. Die wichtigsten Bereiche für die anthropogenen Emissionen dieser Stoffe sind die Energiewirtschaft mit ihren Kraft- und Fernheizwerken, der Verkehr sowie die Landwirtschaft. Zudem trägt die Zufuhr der säurebildenden Nährstoffe Ammonium und Nitrat zur Eutrophierung durch ein Stickstoffüberangebot bei.

## 5.7 Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer

### Ressourcen - Das KATANGA-SYNDROM

Dieses Muster ist eng mit Bergbau und Prospektion verbunden und beschreibt die Umweltdegradation durch Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen (WBGU 1994, 1997) und ist eines der ältesten Schädigungsmuster. Der Abbau nicht-erneuerbarer Ressourcen über- und untertage gehört seit der Eisenzeit zu den typischen wirtschaftlichen Aktivitäten des Menschen, die lokal und regional zu Ökosystemzerstörungen führte. Der Name des Syndroms leitet sich von der Beispielregion für den Syndrommechanismus ab, der Provinz Katanga im Südosten der Demokratischen Republik Kongo. Diese Region gilt als eines der reichsten Bergbaugebiete der Erde mit umfangreichen Vorkommen von Kupfer, Kobalt, Zinn, Uran, Mangan und Steinkohle. Die überwiegend im Tagebau erfolgende Exploitation dieser Bodenschätze führt zu einer größtenteils unwiederbringlichen Zerstörung der beteiligten Ökosysteme.

Beispiele für das Auftreten dieses Syndroms sind weit verbreitet, vor allem in jenen Regionen in denen Kohle und Erze im Tagebau abgebaut werden. Es sind unter anderem hier der Braunkohleabbau in der Niederlausitz oder der Kohletagebau in den östlichen USA (Appalachen) zu nennen. Weitere Beispiele sind Zentren des Erzabbaus wie *Carajás* im brasilianischen Bundesstaat *Pará* (Eisenerz, Aluminium), *Bougainville* in Papua-Neuguinea (Kupfer) und *Bingham Canyon* in Utah, USA (Kupfer). Im Allgemeinen erfolgt der Bergbau zwar meist nur temporär über einige Jahrzehnte hinweg, allerdings hinterlässt er fast überall dauerhafte, zum Teil irreversible Schäden an der Umwelt. Diese Maßnahmen zur Gewinnung von nicht erneuerbaren Rohstoffen (Kohle Öl, Gas, Edelsteine, Erze etc.) tragen in geringerem Ausmaß auch zur weltweiten Waldvernichtung bei. Einerseits wird der „störende“ Wald über den Rohstoffquellen einfach abgeräumt, wobei der möglicherweise erzielte Gewinn aus dem Holzverkauf teilweise noch als ein Nebenprodukt in der ökonomischen Rechnung der Firmen erscheint, und das Ökosystem somit völlig zerstört. Andererseits schlägt auch in diesem Muster die infrastrukturelle Erschließung in einem ähnlichen Ausmaß wie beim ARAL-SEE-SYNDROM durch. Auch hier kommt es vor allem in Entwicklungsländern mit einem hohen Anteil an verarmter, chancenloser Landbevölkerung, zu einer unregelmäßigen landwirtschaftlichen Nutzung der für den Rohstoffabbau erschlossenen Regionen. Da dies auch meist auf marginalen Standorten in tropischen Waldregionen stattfindet, fungiert dieses Muster auch als eine Exposition für das SAHEL- und DUST-BOWL-SYNDROM.