

Rohstoffe und Energie – Panik und Fehlinvestition

Ernst Fiala

There is enough material and energy for all human beings and all future generations, for the ongoing growth of economy. This growth is necessary to handle the social and ecological challenges.

Die seit 40 Jahren geschürte Angst vor der Erschöpfung der Ressourcen ist unbegründet. Die Rohstoffe verschwinden nicht, sondern bleiben im natürlichen oder technischen Kreislauf zur immerwährenden Wiederverwendung. Fortwährend gibt es neue Alternativen: magnetische Speicher statt Silberchemie für Photos, Supraleitung statt Kupfer, Glaskeramik statt Porzellan. Die Sonne durchströmt uns permanent mit weit mehr Energie als wir brauchen. – Wir dürfen keine Grenze für künftiges Wachstum ziehen, weil eine zunehmende Wirtschaftsleistung für die kulturelle Evolution und die Erledigung der ökologischen Herausforderungen notwendig ist.

Rohstoffe

Es gibt alle Rohstoffe im Überfluss, aber nicht umsonst. Rohstoffe gewinnen ihren Wert erst dadurch, dass sie hervorgeholt und in eine verwendbare Form gebracht werden, dass menschliche Arbeit in sie investiert wird.

Das endliche Vorkommen aller Rohstoffe wird als Reichweite ausgedrückt.

Reichweite = $\text{Vorrat} / \text{„Verbrauch“}$ pro Jahr (Dimension Jahre)

Diese Angabe ist irreführend, weil Rohstoffe nicht *verbraucht*, sondern nur *gebraucht* werden. Es wird daher der Begriff „Potential eines chemischen Elements“ vorgeschlagen:

Potential = $\text{Vorrat} / \text{anzunehmender Bedarf}$ für das Füllen des technischen Kreislaufs

Abbildung 1 erläutert als Beispiel die Abschätzung „Potential des Eisens“ Die Annahme, dass sich in 100 Jahren pro Kopf doppelt so viel Eisen im technischen Kreislauf befinden, ist natürlich unsicher. Aber wir werden kaum die Gegend mit immer mehr Schrottplätzen belasten. Besonders dann nicht, wenn das Eisen knapper und daher teurer werden sollte.

In Abbildung 2 wird versucht das Potential einiger Metalle abzuschätzen. Eine besser fundierte Untersuchung erscheint wünschenswert.

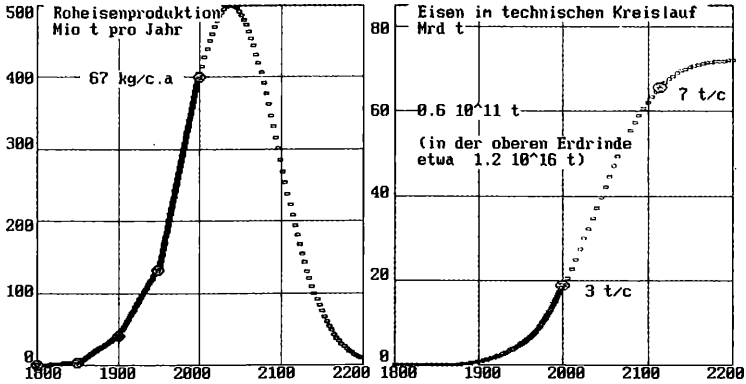


Abb. 1: Die global produzierte Eisenmenge nimmt scheinbar exponentiell zu, links. Sie akkumuliert sich im technischen Kreislauf, wo sich inzwischen rund 20 Milliarden t Eisen angesammelt haben, rechts; etwa 3 t Eisen pro Kopf der Bevölkerung. Nimmt man an, dass es in 100 Jahren z. B. 10 Milliarden Menschen und 6 t Eisen pro Kopf geben wird, dann würden sich 60 Milliarden t Eisen im technischen Kreislauf befinden. In der zugänglichen Erdrinde (10 km Tiefe) befindet sich aber rund 200.000mal so viel Eisen.

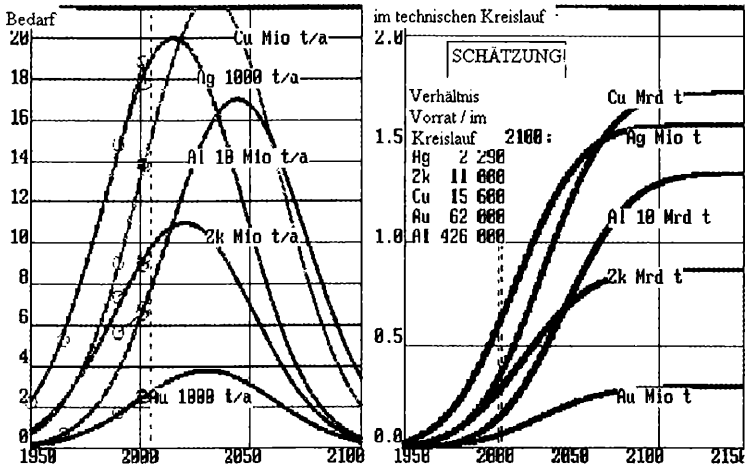


Abb. 2: Jahresbedarf (Kreise links) und geschätzter Endbedarf im technischen Kreislauf (rechts) einiger wichtiger Metalle. Wie alle Angaben über die Zukunft sind auch diese unsicher. Zuversicht kann man nur aus dem Verhältnis von Vorrat und Bedarf gewinnen.

Bezüglich der Rohstoffe können die in Tabelle 1 pointiert zusammengefassten Aussagen gemacht werden. Es gibt genug Rohstoffe für alle Menschen und alle zukünftigen Generationen. Es ist unwahrscheinlich, dass jemals ein Rohstoff zu Ende gehen könnte. Am Beispiel Wasser wird deutlich, dass alle Rohstoffe unverändert im Kreislauf bleiben: jedes Jahr fallen 40.000 m³ Wasser pro Kopf auf die Erde, 1,28 Liter pro Kopf und Sekunde. Das ist so viel, dass alle Menschen ununterbrochen duschen könnten. Der Wasservorrat füllt für jeden Menschen einen Würfel von 615 m Kantenlänge. Wir verbrauchen auch Wasser nicht, wir gebrauchen es nur. Die Menge des Wassers bleibt unverändert. – Die Steinzeit ist nicht wegen eines Mangels an Steinen zu Ende gegangen und die Eisenzeit wird nicht wegen eines Mangels an Eisen zu Ende gehen.

Tab. 1:

<p>Rohstoffe</p> <ul style="list-style-type: none">• gibt es im Überfluss aber nicht umsonst.• werden nicht <u>ver</u>braucht, sondern nur <u>ge</u>braucht.• Der Bedarf richtet sich nach dem Angebot oder findet Ersatz.• Meist gibt es einen Ersatz.• Weil immer der billigste Rohstoff gewählt wird, sind alle vor der völligen Erschöpfung geschützt.• Die vier technisch wichtigsten Elemente (O, Si, Al, Fe) sind zugleich die vier häufigsten in der oberen Erdkrinde.

Energie

Auch Energie gibt es im Überfluss. Sie durchströmt die Welt unabhängig davon, ob wir sie nutzen oder nicht. Das Leben verwendet seit Anfang an diesen Energiestrom um daraus Information aufzubauen, die der allgemeinen Zunahme der Entropie entgegenzuwirkt, Abbildung 3. – Wir sollten mit dem Begriff Energie sorgsamer umgehen. Zumindest müssen wir zwischen Hochtemperaturenergie (elektrischen Strom) und Niedertemperaturenergie (Wärme) unterscheiden, weil mittels Wärmepumpe aus 1 kWh elektrischem Strom z. B. 4 kWh Wärme gemacht werden kann und umgekehrt wegen des thermischen Wirkungsgrades für die Herstellung von 1 kWh elektrischer Energie mehr chemische (NT-)Energie aufzuwenden ist.

Um die zukünftige Versorgung mit Energie diskutieren zu können sind in Abbildung 4 die angenommenen Erwartungen gezeigt. (Natürlich sind hier alle Vorbehalte

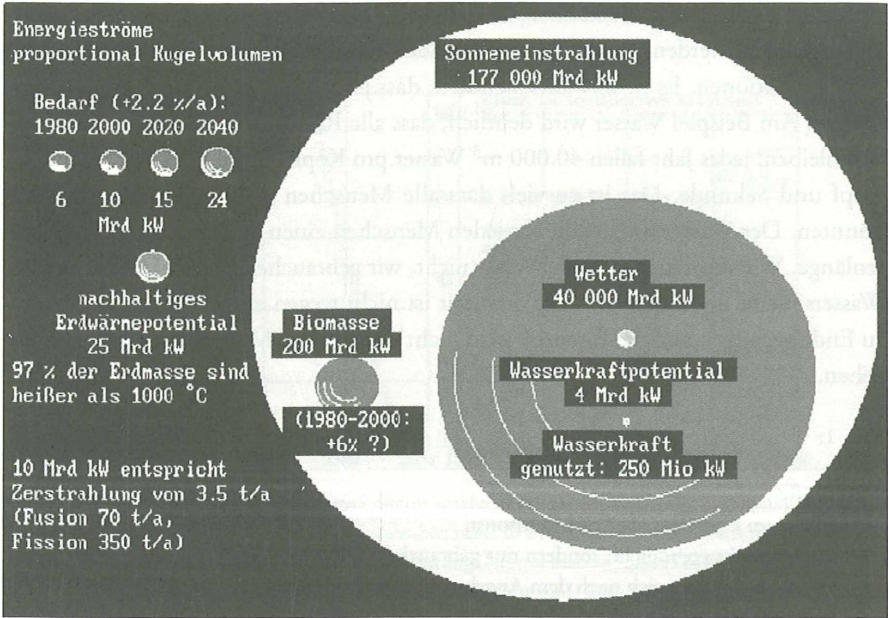


Abb. 3: Energiebedarf und Energieströme. Das Kugelvolumen ist zu dem jeweiligen Energiestrom proportional. Letzten Endes leben wir von Kernprozessen, gleichgültig ob sie in der Sonne, im Erdinneren oder im Kernreaktor stattfinden.

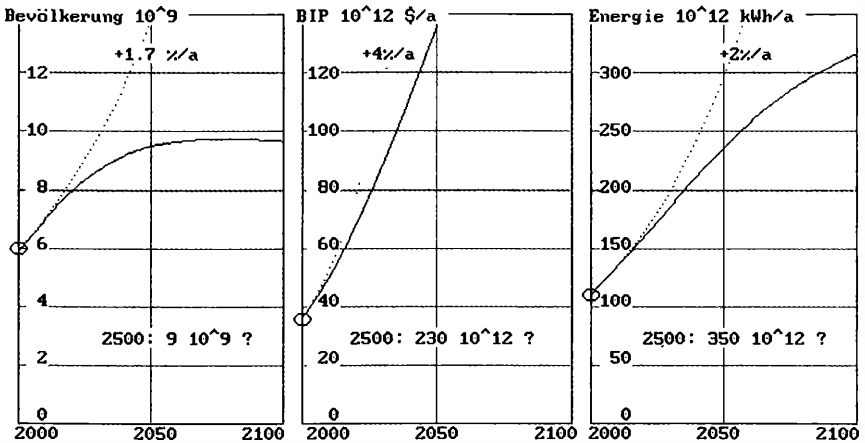


Abb. 4: Annahmen zur Abschätzung der zukünftigen globalen Ausgaben für Energie. Gesichert sind nur der Ausgangswert und der derzeitige Gradient. Angaben über die längerfristige Entwicklung liefert.¹⁾

angebracht. Etwa so wie sie Ernst Gehmacher²⁾, S. 37/50 und S. 83/89 aufzeigt.) Abbildung 5 zeigt die für Primärenergie aufgewendeten globalen Kosten (Billionen \$/a) für die Jahre 2006, 2050 und 2100 als %-Satz des globalen Bruttoinlandsprodukts. Wir geben heute rund knapp 10 % des BIP aus, wenn wir 3 ct/kWh Primärenergie zahlen. Fast 80 % der Energie sind fossilen Ursprungs, je 8 % Wasser- und Kernkraft, der Rest sind die viel teureren Energieformen Biomasse, Windkraft und Photovoltaik. Weil das globale BIP rascher als der Energiebedarf steigt (4 % statt 2 % pro Jahr), können wir in Zukunft höhere Energiepreise zahlen ohne einen all zu großen Anteil des BIP für Energie auszugeben. Trotzdem bleiben die „erträglichen“ Energiekosten (10 % vom BIP) unter den Kosten für Strom aus Windkraft oder Photovoltaik. Auch Strom aus Biomasse wird wohl mehr als 10 ct/kWh kosten. Was bleibt ist also das weitere Nutzen der fossilen Energie, mit CO₂-Ablagerung falls erforderlich, und der Ausbau von Wasser- und Kernkraft. Biomasse wird man hauptsächlich für die Herstellung von Kraftstoff verwenden, wobei Wasserstoff aus billigem Strom zur Hydrierung die Biomasse streckt. Investitionen zur Deckung des Massenstrombedarfs für Windkraft und Photovoltaik sind fraglich. Die Gefahr einer Fehlinvestition ist dadurch gegeben, die verfügbaren Mittel in die Wiederholung suboptimaler Alternativen zu stecken statt nach wettbewerbsfähigen Alternativen zu forschen. (Genau genommen müssten Windräder und Photozellen mit dem teuren Strom bezahlt werden, den sie selbst pro-

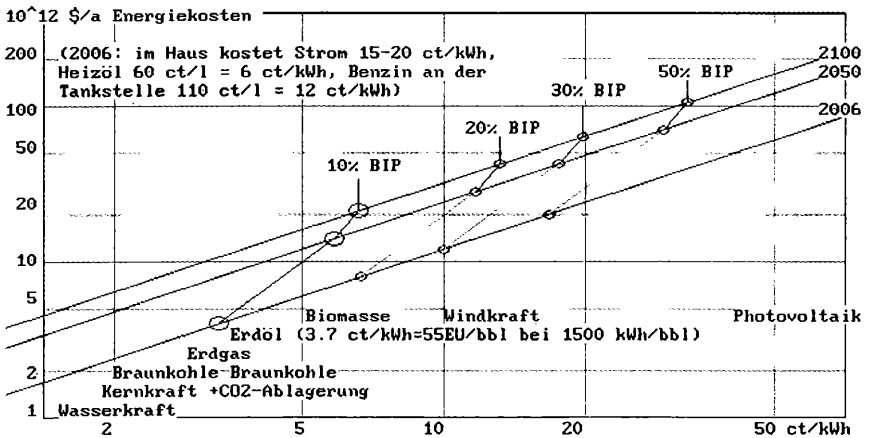


Abb. 5: Bei Energiekosten von 3 ct/kWh geben wir global etwa 3 Billionen \$ pro Jahr für Energie aus. Das sind knapp 10 % des Bruttoinlandsprodukts. Die Energiekosten müssen auch in Zukunft in einem akzeptablen Verhältnis zum BIP stehen.

duzieren. Auch dürfen Investitionen nicht vernachlässigt werden, die das Aufkommen von Wind- und Solarenergie der Nachfrage anpassen.) Verstärkte Aufmerksamkeit muss auf die Erforschung von Möglichkeiten gerichtet werden, die Solarstrahlung (mit weniger als 10 ct/kWh) billig zu nutzen. Diese Anlagen wird man dort erstellen, wo viel Strahlungsenergie pro Kopf der Bevölkerung (kW pro Kopf) vorhanden ist und die Einstrahlung dicht ist (viele kWh pro Fläche = kWh/m².a). Abbildung 6 zeigt, dass Bulgarien, Spanien, Griechenland und Portugal gut geeignet sind und auch die Türkei wird es noch sein. Viel besser aber ist z. B. Libyen, wo auf den Einwohner 66.000 kW bei einer Einstrahlendichte von 1.620 kWh/m².a = 185 W/m² kommen. Aber auch die USA und Mexiko haben günstige Voraussetzungen. Angesichts der gegebenen Wettbewerbssituation wäre es vielleicht vernünftig sich mit den südlichen Randstaaten des Mittelmeers gut zu stellen.

Noch ist kein Verfahren bekannt, das Biomasse zu einem zufriedenstellenden Preis produzieren kann. Die Zielrichtung kann biotechnisch sein (Abb. 7) oder thermo-technisch (Abb. 8). – Sollte sich die CO₂-Ablagerung durchsetzen, dann wird billiges CO₂ und N₂ zur Verfügung stehen, was neue Möglichkeiten bietet.

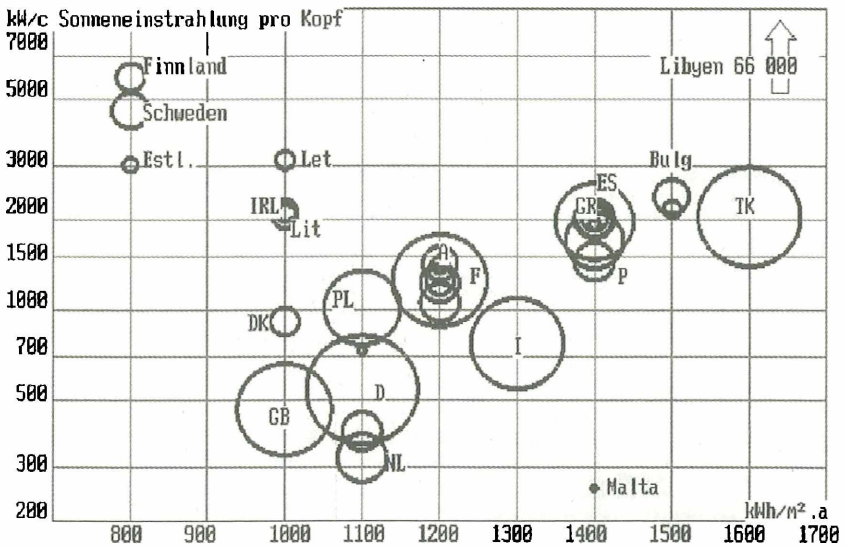


Abb. 6: Sonneneinstrahlung pro Kopf und pro Fläche. Die Fläche der Ovale ist proportional der Bevölkerungszahl des betreffenden Landes.

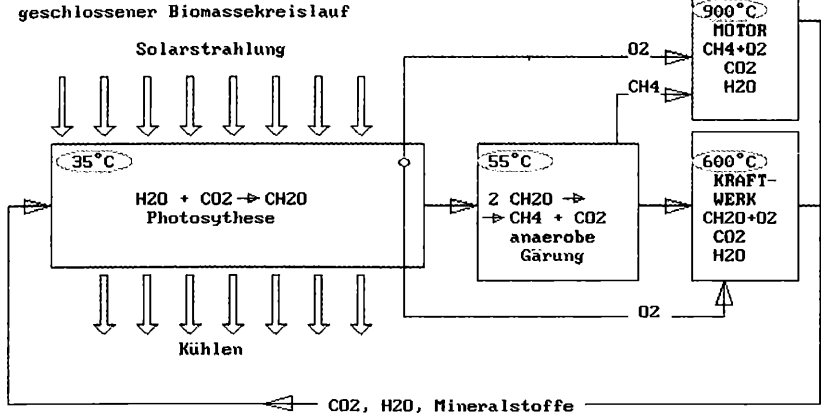


Abb. 7: Der geschlossene Biomassekreislauf

- erleichtert das Transportproblem,
- vermeidet die Verdunstungsverluste und
- ermöglicht die Einstellung der optimalen CO₂-Konzentration für die Photosynthese.

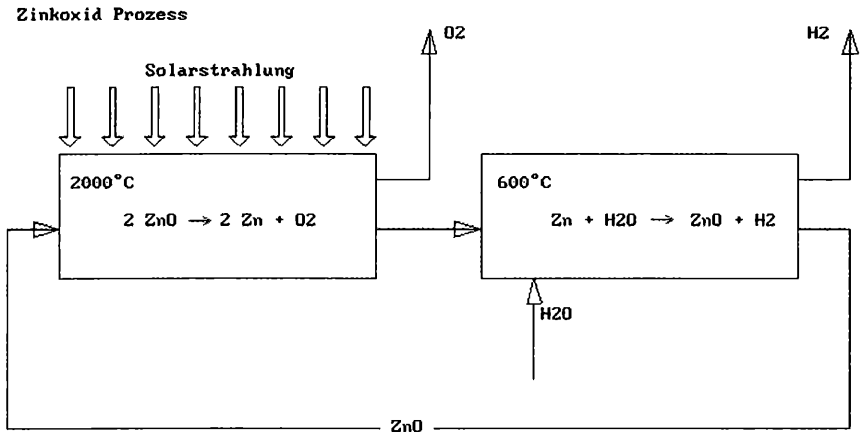


Abb. 8: Thermochemischer Prozess zur Herstellung von Wasserstoff. Zurzeit wird eine Versuchsanlage in Israel gebaut.

Es hat sich gezeigt, dass der konventionelle Öl- und Gaspreis dem Angebot des nächst billigen Wettbewerbers folgt. Das war in den letzten 30 Jahren der Preis für offshore Öl (etwa 40 \$/bbl), es wird in Zukunft der Preis für Öl aus Sanden und Schiefer (etwa 60 \$/bbl) und vielleicht von Methanhydrat (70 \$/bbl?) sein. Bemerkenswert ist, wie wenig Einfluss die Ölpreissteigerung von 20 auf 60 \$/bbl auf die wirtschaftliche Entwicklung gehabt hat. (Der Ölpreis lag zwischen 1986 und 1999 bei 20 \$/bbl.) Die Ölpreisentwicklung hat bewirkt, dass der Preis für fossile Energie (60 \$/bbl 4 ct/kWh) den Preis für elektrische Energie übertrifft. Das Problem des billigen Transports und der Speicherung von elektrischer Energie rückt daher in den Vordergrund. Es muss das Ziel konzentrierter Forschung werden.

Versucht man die Alternativen für elektrischen Strom und Kraftstoff abzuschätzen, dann ergeben sich mit der unvermeidlichen Ungenauigkeit von +/- 20 % die in Abbildung 9 genannten Zahlen. Für den Strom bleibt Kernenergie der unschlagbare Favorit gefolgt von Gas und Braunkohle (mit CO₂-Ablagerung). Für den Kraftstoff bleibt Erdöl, aus welcher Quelle auch immer, der Favorit. Wird hier CO₂-Freiheit gefordert (was auf Dauer unvermeidbar scheint), dann wird Biomasse zum Favoriten. Es sei denn, es kommt zu einer Systemumstellung, nach der Wasserstoff oder Ammoniak aus billigem Strom zum aussichtsreichsten Kandidaten wird.

Energiepreise in der EU ab Raffinerie/Kraftwerk ct/kWh (1 bbl=1500 kWh)

Kraft-, Brennstoff	ct/kWh	elektrischer Strom aus	
		ct/kWh	CO ₂ -frei ct/kWh
Erdöl 20 \$/bbl	1.3	Wasserkraft	2
Erdöl 60 \$/bbl	4	Kernkraft	2
Erdgas	3.2	Braun-, Importkohle	3
Braunkohle, Importkohle	1.5	Erdwärme	5
GtL	4		
CtL	4		
BtL	7		
Biomasse	5	Biomasse	10
LNH3, LH2 (WK, KK)	5		
LNH3, LH2 (Windkraft)	24	Windkraft	12
LNH3, LH2 (Photov.)	100	Photovoltaik	50
Brennstoff im Haus:	1.2 (Basis + 1),	z.B.: 1.2(4+ 1)	6, 60 ct/l
KS an Tankstelle	1.2 (Basis + 6),	z.B.: 1.2(4+ 6)	12, 108 ct/l
Strom im Haus:	1.2 (Basis + 12),	z.B.: 1.2(2+13)	16.8

Abb. 9: Alternativen für elektrischen Strom/Kraftstoff Alternativen

Zusätzliche Arbeitsplätze durch alternative Energie?

Natürlich entstehen neue Arbeitsplätze durch alle Prozesse mit kleinerem Wirkungsgrad. Auf der anderen Seite gehen aber Arbeitsplätze durch die schlechtere Wettbewerbsfähigkeit verloren. Die richtige Beantwortung dieser Frage ist von erstklassiger volkswirtschaftlicher Bedeutung.

Zusammenfassung

Die tatsächliche Entwicklung folgt in keiner Weise den pessimistischen Prognosen der „Grenzen des Wachstums“: die Ressourcen gehen nicht zu Ende, sondern reichen für alle Menschen und alle Generationen, es tritt kein Abfall der Lebenserwartung ein und die Umweltbelastung kann nach dem Durchgang durch die Industrielle Revolution beherrscht werden.

Literatur

- 1) Becker-Boost, Erich und Ernst Fiala: Wachstum ohne Grenzen, Springer, Wien 2001.
- 2) Gehmacher, Ernst: Reich und grün, Molden, Wien 1998.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Umwelt - Schriftenreihe für Ökologie und Ethologie](#)

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: [33](#)

Autor(en)/Author(s): Fiala Ernst

Artikel/Article: [Rohstoffe und Energie - Panik und Fehlinvestion. 19-27](#)