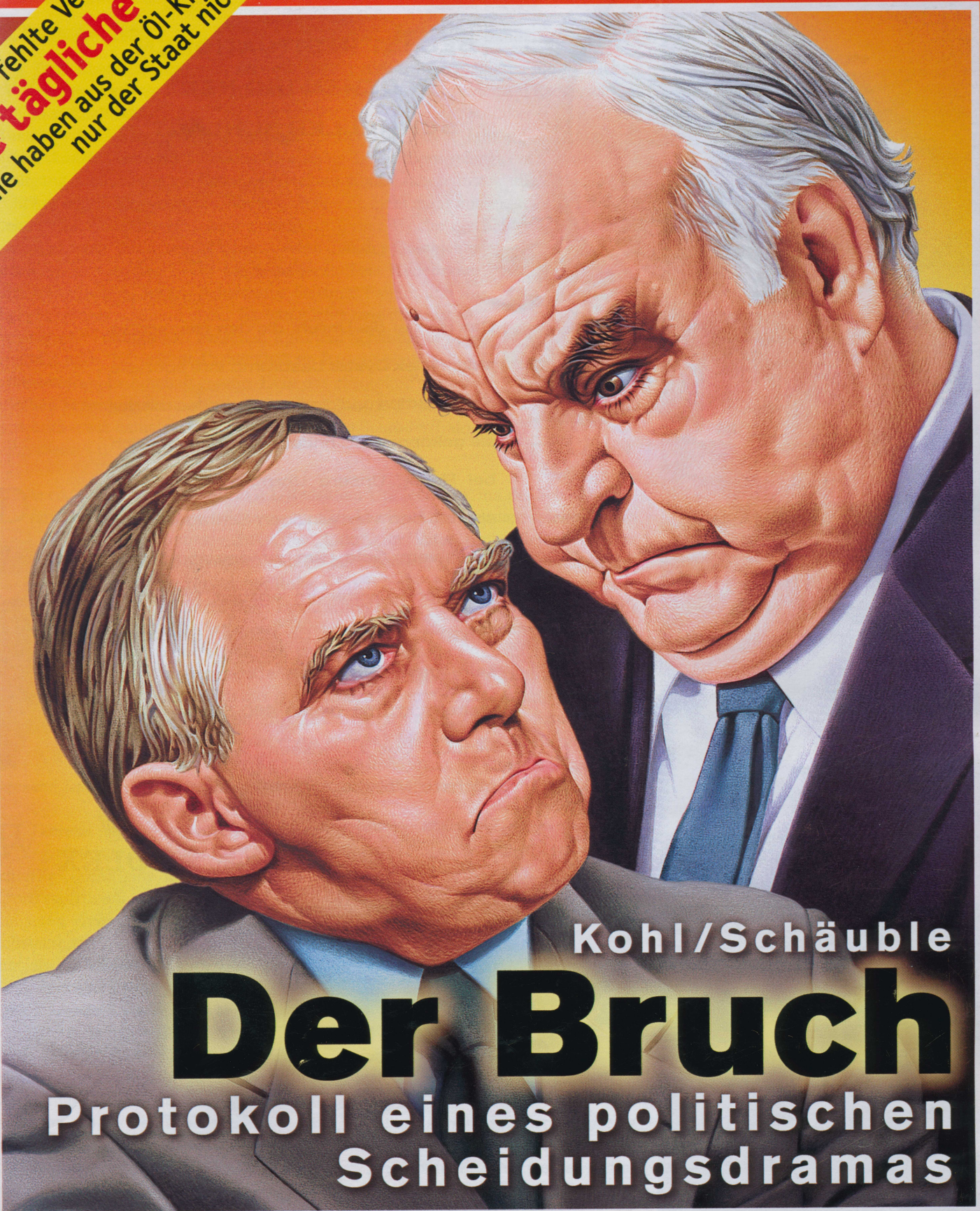




**Verfehlte Verkehrspolitik:
Die tägliche Blockade**
Alle haben aus der Öl-Krise gelernt—
nur der Staat nicht

ISSN 1120-3445
USA \$ 6,50
UK £ 3,50
FR 9,70
DE 5,00
AUS \$ 12,00
CAN \$ 12,00
MEX \$ 12,00
BRA \$ 14,90
DAN \$ 24,00
FIN \$ 7,00
GER \$ 5,00
GRC \$ 2,95
HKG \$ 12,00
IND \$ 12,00
ITA \$ 7,00
JPN \$ 12,00
KOR \$ 12,00
LUX \$ 6,50
NLD \$ 7,00
NOR \$ 7,00
POL \$ 12,00
POR \$ 7,25
RUS \$ 12,00
SLO \$ 6,50
SWE \$ 7,00
SWI \$ 6,50
THA \$ 12,00
TUR \$ 12,00
USA \$ 6,50
UK £ 3,50
FR 9,70
DE 5,00
AUS \$ 12,00
CAN \$ 12,00
MEX \$ 12,00
BRA \$ 14,90
DAN \$ 24,00
FIN \$ 7,00
GER \$ 5,00
GRC \$ 2,95
HKG \$ 12,00
IND \$ 12,00
ITA \$ 7,00
JPN \$ 12,00
KOR \$ 12,00
LUX \$ 6,50
NLD \$ 7,00
NOR \$ 7,00
POL \$ 12,00
POR \$ 7,25
RUS \$ 12,00
SLO \$ 6,50
SWE \$ 7,00
SWI \$ 6,50
THA \$ 12,00
TUR \$ 12,00



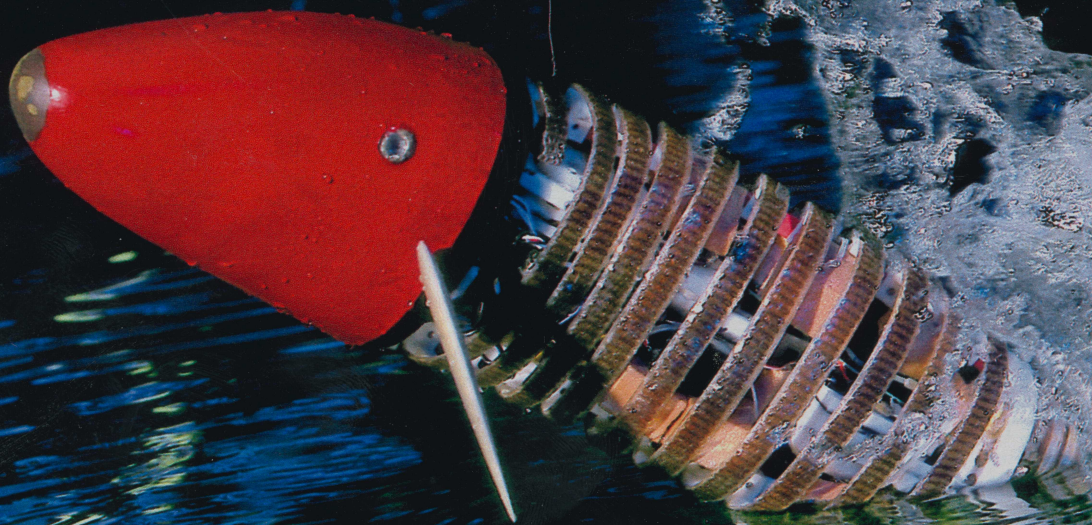
Kohl/Schäuble

Der Bruch

Protokoll eines politischen Scheidungsdramas

▶ 6. Technik: Werkstätten der Zukunft

- ▶ 6.1. Vorstoß in die Mikrowelt
- ▶ 6.2. Wege aus dem Stau
- ▶ 6.3. Siege über die Schwerkraft
- ▶ 6.4. Technik für übermorgen



Robot-Fisch im Bionik-Labor des MIT

B I O N I K

ROLLE RÜCKWÄRTS

Nach dem Vorbild der Natur konstruieren Ingenieure lebensechte Roboter, die sich behände wie Mensch und Tier bewegen: Stubenfliegen, Fische und metallene Gehmaschinen.

Einen Schönheitswettbewerb wird das Metallgerippe nicht gewinnen: Kopf- und rumpflös schlendert es dahin, die Aluminiumbeine klappern abwechselnd mit breiten, an der Sohle abgerundeten Entenfüßen über ein schräg abfallendes Brett.

Von der Hüfte – nicht mehr als eine Querschiene – baumeln zwei starre Metallarme, mit denen der Aluminium-Wicht Balance hält. Das gelingt nicht immer: Bisweilen schwankt er so gefährlich hin und her, dass er beinahe seitlich auf den grauen Linoleumboden kracht.

Im lichtdurchfluteten Labor an der Cornell-Universität im US-Staat New York lässt Steven Collins, 21, den Blechkameraden regelmäßig über die rund vier Meter lange Holzrampe spazieren – eine Gehmaschine aus Aluminium, der er auf der schiefen Ebene den aufrechten Gang beibringen will. Der Wackel-Peter funktioniert gänzlich ohne Computersteuerung, Motorantrieb oder Sicherungsseil. Ein kleiner Stups setzt den Apparat in Bewegung, dann folgt er nur noch den Gesetzen der Physik.

Der Mensch erlernt das Laufen kinderleicht, Maschinen auf zwei Beinen

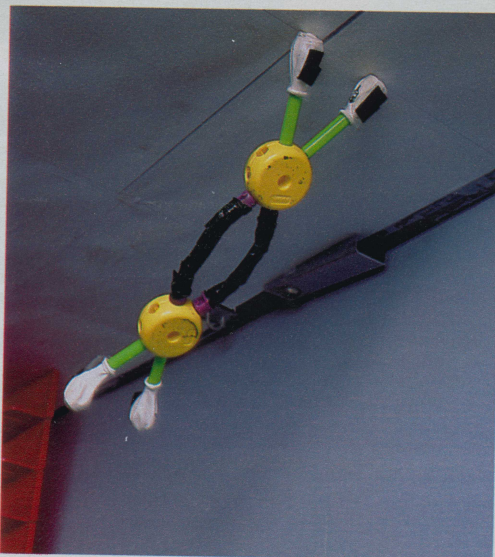
tun sich bislang schwer. Die Natur hat technischem Genius schlicht einige Jahrmillionen Entwicklungszeit voraus. Tüftler im Grenzbereich zwischen Biologie und Technik, der so genannten Bionik, studieren deshalb die durch genetische Veränderungen und Auslese entstandenen Entwürfe der Evolution, um für die eigenen Geräte ähnlich elegante Lösungen aufzuspüren.

Neidisch blicken die Ingenieure auf das lockere Gangwerk des Homo sapiens, auf den scheinbar mühelos dahinschwimmenden Tunfisch oder die wendige Stu-



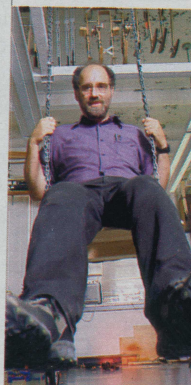
Forscher Collins mit Gehmaschine, Affenmodell*

Bewegt von der unsichtbaren Hand der Newtonschen Gesetze



FOTOS: H. MORGAN

„Gehen ist der stabilste Zustand einer auf zwei Beinen ruhenden Konstruktion“



Bionik-Forscher Mike Coleman

benfliege, deren Flugakrobatik bis vor kurzem als physikalisches Wunder galt.

Bei dem Bemühen, Roboter zu entwickeln, die ihren Vorbildern aus der Natur gleichen, führt Kopieren allerdings nicht weit: Der hochkomplizierte Bewegungsapparat eines Tieres lässt sich nicht einfach von Knochen und Nerven in Metallstäbe und Siliziumchips übersetzen.

Stattdessen suchen Wissenschaftler zuerst die mechanischen Prinzipien zu entschlüsseln, die es Kreaturen erlauben, sich effizient fortzubewegen. Die Arbeitsgruppe um Andy Ruina an der Cornell-Universität, zu der der Student Steven Collins gehört, hat sich das Getriebe der menschlichen Beine vorgeknöpft.

Die Bionik-Forscher hegen Zweifel, ob Muskelkraft und Nervenimpulse die Hauptarbeit verrichten, wenn Lebewesen ein Bein vor das andere setzen. Ruinas Gehmaschinen brauchen all das nicht – und schreiten dennoch fast grazil dahin. Das Zauberwort dafür lautet „passive Dynamik“: Eine ausgefeilte Körpermechanik erlaubt es Mensch und Maschine, sich mit vergleichsweise geringem Kraftaufwand, fast wie von selbst,

fortzubewegen – erst recht, wenn es ein wenig bergab geht.

Die unsichtbare Hand der Newtonschen Gesetze sieht Ingenieur Ruina nicht nur beim gehenden oder laufenden Menschen am Werk, sondern auch bei sich von Ast zu Ast schwingenden Affen oder schaukelnden Kindern. Den Rampengeher hat er aber am besten erforscht: „Was ihn marschieren lässt, sind ausschließlich die Schwerkraft, die Gesetze der Trägheit und der leichte Abprall seiner Füße vom Boden der Rampe.“

An der Decke des Labors hängt in Reih und Glied die Garde ausgemusterter Holz- und Metallgeher: Maschinen, die wie Orang-Utans die Arme zum Laufen gebrauchen, steife Zweibeiner mit und ohne Kniegelenk, mit Quadratlatschen oder kleinen Füßchen. Sie alle haben in den letzten Jahren mehr oder minder erfolgreich die schiefe Bahn in Ruinas Labor bewältigt.

Überraschenderweise sind die Klappergestelle an den Hüften weit schwerer als an

den Füßen. Der hoch gelegene Schwerpunkt ließe erwarten, dass die Metallapparate dazu neigen, zur Seite umzufallen. Dass sie Balance halten, beruht auf einem ebenso simplen wie raffinierten Prinzip, wie Ruina erklärt: „Die Gliedmaßen bewegen sich wie zwei an der Hüfte verbundene Pendel. Während ein Bein noch durch die Luft schwingt, schwenkt das Standbein mit der Hüfte vorwärts, bis der freie Fuß auftritt und seinerseits die Rolle des Standbeins übernimmt.“ Mike Coleman, ein Mitarbeiter Ruinas, hat bewiesen, dass Gehen der stabilste Zustand einer auf zwei Beinen ruhenden Konstruktion sein kann. Aus bunten Spielzeugklötzen baute er vor zwei Jahren einen Geher, der nur aufrecht bleibt, solange er voranschreitet; im Stillstand fällt das Plastikmännchen sofort um.

Ingenieure, die Roboter nicht zum Gehen, sondern Schwimmen bringen wollen, sind dem Traum eines vollkommenen Techno-Tieres schon ein Stück näher gerückt. Am weitesten ist der Konstrukteur Michael Triantafyllou am Bostoner Massachusetts Institute of Technology (MIT) fortgeschritten. Der Ingenieur hat sich nichts Geringeres vorgenommen als

* Links: an der Cornell-Universität; rechts: Mit der an der Decke hängenden Konstruktion wird simuliert, wie sich Schimpansen von Baum zu Baum schwingen.

DIE WELT IM 21. JAHRHUNDERT