

Wissenschaft



Trassen unter dem Hammer

Der Termin klang nach grauem Politikeralltag. Vergangene Woche stellte Verkehrsminister Wolfgang Tiefensee in Berlin das zweite und endgültige Gutachten über den geplanten Börsengang der Deutschen Bahn AG vor. Die Bundesregierung will daraus bis zum Sommer einen Plan ableiten, in welcher Form die Bahn privatisiert werden soll. Es geht um die Frage, ob sie die Hoheit über das Schienennetz behalten soll, ob es als öffentliche Infrastruktur vor dem Börsengang von ihm abgetrennt wird oder ob es eine Zwischenform zwischen diesen beiden Lösungen geben könnte.

Hinter den trockenen Verlautbarungen verbirgt sich allerdings ein vertracktes Problem – und kein neues. Es ist rund zwanzig Jahre her, da schrillten in vielen Ländern Europas die Alarmglocken. Die staatlichen Eisenbahnunternehmen verschlangen immer mehr Geld, anstatt welches an ihren Fahrgästen zu verdienen. Gigantische Schulden drohten. Die Europäische Kommission verabschiedete von 1991 an mehrere Richtlinien, die das verhindern sollten. Unter anderem sollten die nationalen Schienennetze für private Eisenbahnbetreiber geöffnet werden. Deutschland besaß damals gleich zwei dieser sieben Staatsunternehmen, nämlich die Bundesbahn (West) und die Reichsbahn (Ost). 1994 verschmolzen die beiden im Sinn der EU zur Deutschen Bahn AG. Diese sollte aus dem Bahnbetrieb endlich ein Geschäft machen. Eine ihrer möglichst selbständigen Tochterfirmen, die DB Netz AG, sollte die 35 000 Kilometer des deutschen Schienennetzes wettbewerbsorientiert vermarkten.

Nun ist ein nationales Schienennetz zunächst das Gegenteil von Wettbewerb, nämlich ein natürliches Monopol – niemand könnte ein vergleichbares Gleissystem noch einmal bauen. Wie schafft man da Konkurrenz?

„Für mich ist es erstaunlich, daß das zuständige Ministerium in der Vergangenheit nicht einen einzigen Forschungsauftrag vergeben hat, der sich mit dieser Frage auseinandersetzt“, sagte damals Hans-Jürgen Ewers, Präsident der TU Berlin und Doyen der deutschen Infrastruktur-Ökonomen, in einer Anhörung des Verkehrsausschusses im Bundestag. Neben ihm saß der Bahnexperte Gottfried Ilgmann, und die beiden arbeiteten just an einem Vorschlag dieser Art. Ilgmann wollte aber nicht „einfach mal ein bißchen“ forschen, sondern al-

les nach Strich und Faden durchleuchten. Sein Ziel war eine Optimierung der Schienenwege insgesamt.

Dieser Gedanke enthält genug gesunden Größenwahn, um für echte Forschung zu taugen. Schließlich lautet die Lehrmeinung, ein System wie der deutsche Schienenverkehr sei entschieden zu komplex, um in seiner Gesamtheit beschrieben, geschweige denn berechnet zu werden. Ilgmann stellte sich aber noch mehr vor, nämlich einen Markt, auf dem Bahnbetreiber die Erlaubnis zu einzelnen Verkehrsverbindungen ersteigern können. Wer am meisten bietet, darf auf dem Gleis. Am Flughafen nennt man solch ein Recht „Slot“, bei der Eisenbahn heißt es „Trasse“ – das Recht, einen bestimmten Zug zu einer bestimmten Zeit auf einer festgelegten Route von A nach B zu fahren. Das Projekt bekam den Namen „Trassenbörse“ und finanzielle Unterstützung vom Bundesforschungsministerium.

Ewers starb 2002 noch vor dem Start des Forschungsprojektes. Ein Fachgebiet Wirtschafts- und Infrastrukturpolitik an der TU Berlin befreit die ökonomischen Aspekte bis heute. Das Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb, ebenfalls an

Bis heute werden die Fahrpläne nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum geschrieben.

der TU, kümmert sich darum, daß alle notwendigen Bedingungen des praktischen Eisenbahnbetriebs erfüllt werden. Das Berliner Konrad-Zuse-Zentrum für Informationstechnik widmet sich der mathematischen Optimierung. Zusammen wollen die Trassenforscher das bundesweite Schienennetz in ein Modell packen, das es möglich macht, die Fahrtrechte sinnvoll unter den einzelnen Wettbewerbern zu vergeben. Ihren ersten zusammenfassenden Forschungsartikel haben die Wissenschaftler zur Jahreswende beim Fachblatt *Competition and Regulation in Network Industries* eingereicht.

Wer ein Gefühl dafür bekommen will, wie revolutionär das Vorhaben ist, muß sich nur anschauen, wie Bahnunternehmen traditionell planen. „Bis heute werden die Fahrpläne fürs Netz

von Hand optimiert“, schreiben die Trassenbörsler in ihrem Forschungsbericht, „ererbte Fahrpläne werden an ausgewählten Stellen nach dem Prinzip von Versuch und Irrtum verbessert.“ Auch die DB Netz AG führt nur die Trassenwünsche ihres Mutterkonzerns Deutsche Bahn und seiner dreihundert vergleichsweise mikrobiischen Wettbewerber zu einem Jahresfahrplan zusammen. Die Wünsche sind vielfach nur eine Verlängerung dessen, was sich an praktikablen Verbindungen eingeschlichen hat. „Die Bahnleute prüfen zwar verschiedene Fahrplan-Varianten und wählen dann die beste aus. Aber das ist natürlich gar keine Optimierung im mathematischen Sinn“, erklärt Martin Grötschel, Kopf der Mathematiker in der Trassenbörse und weltweit anerkannter Experte für solche Probleme.

Niemand kann daher sagen, wie gut der historische Fahrplan das Netz und vor allem dessen Engstellen nutzt. Die 700 Mitarbeiter, die bei der DB Netz AG, regional verteilt, die Trassen vergeben, zeichnen zwar ein stets präzises Bild des Schienenverkehrs, aber sie besitzen eben kein Modell davon. Dabei ist das Netz aufs engste verknüpft. Keiner kann sagen, ob beispielsweise ein weiteres Gleis am überlasteten Knotenpunkt Köln für vergleichsweise wenig Geld eine hohe Anzahl neuer nützlicher Verbindungen erlauben würde. Und wie hoch die Kosten des Ausbaus sein dürften, damit er sich lohnt. Oder welche von Hunderten von Langsamfahrstellen als erste repariert werden sollten, weil sie im Vergleich die Netznutzung am meisten einschränken. Oder welchen Nutzen für die Durchlässigkeit des gesamten Netzes es bringt, eine Schnellfahrstrecke durch den Thüringer Wald zu bauen. Auch weil es niemand weiß, streiten Politik und Stammtische fallweise heftig um diese Themen, verbittert, aber mit verbundenen Augen.

„Die Vorteile einer Trassenbörse hängen gar nicht von einer Trennung des Schienennetzes vom Bahnbetrieb ab – schon die heutige Bahn könnte sie einsetzen, etwa als internes Optimierungsmittel der Trassenvergabe an

Es gehört schon etwas Größenwahn dazu, ein System wie das deutsche Schienennetz komplett berechnen zu wollen.

die Transportsparten Fernverkehr, Regionalverkehr und Güterverkehr“, sagt Jürgen Siegmann, der Bahntechnik-Verantwortliche im Projekt. Dem Schienennetz fehlt ja nicht nur das Modell, sondern überhaupt jede begründete Ökonomie. Die DB Netz AG berät sich zwar inzwischen mit einem „Netzbeirat“ der Verkehrsunternehmen und erhebt Trassenpreise für jede Schienennutzung nach einem EU-amtlich und kartellrechtlich geprüften System. Aber mit den realen Kosten für Bau und Pflege einzelner Schienenwege haben diese Zahlen nur entfernt zu tun. Ein ICE-Zug zahlt etwas mehr als ein Regionalzug, in den Bau seiner Schnellfahrstrecken jedoch wurde ein Vielfaches investiert. Was ist hier der gerechte Preis?

Besuch bei Kay Mitusch, dem Nachfolger von Hans-Jürgen Ewers. Auch er trägt wie viele seiner akademischen Mitstreiter eine Armbanduhr im Bahndesign, als wär's ein Erkennungszeichen der Trassenbörsler. „Hinter unserem Ansatz steht die These, daß die Anbieter von Zügen den Wert der Trassen letztlich am besten einschätzen“, erklärt er. „Diese Unternehmen gehen ja auch ins Risiko und investieren in Fahrzeuge und Personal, um Fahrgäste zu gewinnen.“

Deswegen sollen sie gegeneinander steigern. Doch ein simples Auktionsdesign reicht dafür in keinem Fall. Die DB Netz AG ist nach dem Gesetz schon heute dazu verpflichtet, den Meistbietenden vorzuziehen, wenn sie über zwei ansonsten unvereinbare Trassenwünsche zu entscheiden hat. Sie meidet dies in der Praxis so gut als möglich, und die Trassenbörsler pflichten ihr bei: „Isoliertes Steigern für Engstellen paßt sicher nicht für die Trassenvergabe in Schienennetzen.“ Denn niemand wird am Ende froh, wenn ein spendierfreudiger Lokzug-Anbieter einen Flaschenhals ergattert und damit anschließend fünf europaweit verkehrende Güterzüge blockiert.

Eine Trassenbörse muß also schon größere Teile der Netzkapazität zum selben Zeitpunkt auf den Markt bringen. Natürlich nicht alle auf einmal. „Am Anfang würde die Börse vielleicht nur den Güterverkehr auf den Haupttrouten von den deutschen Häfen ins Binnenland vergeben“, erläutert Kay Mitusch. Wenn sich die Börse bewährt, würde sie anschließend in festem Rhythmus, etwa jedes Jahr, immer wieder Teile des Netzes anbieten und die Trassenrechte dann für längere Zeit, zum Beispiel für vier Jahre, vergeben.

Das Optimierungsregime der Börse muß es dann ermöglichen, daß ein

Niemand wird froh, wenn ein lokaler Bahnanbieter anschließend fünf Europa-Züge blockiert.

nachgefragter schneller Zug vielleicht mal zwischendurch etwas langsamer fahren muß, um anderen Platz zu lassen. Nur so kann die Maximierung des Versteigerungserlöses dann auch ein Nutzungsoptimum bringen.

Die Objekte dieser Art der Versteigerung sind nicht nur „verbundene Güter“, sie sind überhaupt ziemlich fusselige Ideen, die erst von den Auktionsteilnehmern in die Welt gesetzt werden. Ein gewünschter Zug soll zum Beispiel irgendwann um 18 Uhr fahren. Sein Anbieter würde aber auch zehn Minuten später hinnehmen. Eventuell läßt er sogar bei der Streckenführung mit sich reden – nach dem Motto: „Klar, ein Halt in Frankfurt bringt eh wenig, lassen wir eben weg, aber dann wollen wir auch einen Tausender weniger zahlen.“

Erstaunlicherweise haben die Berliner Wissenschaftler bereits ein Theoriegebäude geschaffen, um dieses Gefusel zu fassen. Sie haben sogar schon eine Mini-Trassenbörse gebaut. „Natürlich wäre es hoffnungslos, ein Verfahren zur Optimierung der Schienennutzung in mikroskopischer Sicht zu konstruieren“, erklären sie in ihrem Artikel. Mikroskopisch hieße, jede Weiche, jeden Gleisabschnitt und jeden Waggon abzubilden. Nein, der Ansatz muß klüger sein.

Fortsetzung auf der nächsten Seite

NACHRICHTEN

Herzlich willkommen

Wenn Kinder frühzeitig Freundschaften schließen, dann gelingt es ihnen auch wesentlich besser, eine positive Beziehung zu später geborenen Geschwistern aufzubauen. Freund oder Freundin haben dabei mehr Einfluß auf die Entwicklung der Geschwisterbeziehung als die eigenen Eltern, schreibt die Psychologin Laurie Kramer von der University of Illinois in der aktuellen Ausgabe des *Journal of Family Psychology*. Im Rahmen ihrer Studie hatte sie 28 Geschwisterpaare über 13 Jahre hinweg beobachtet.

Gern genommen

In Europa und den Vereinigten Staaten ist am Freitag ein Insulinpräparat zugelassen worden, das inhaliert werden kann. Das Pulver, das mit einem kleinen Gerät zerstäubt wird, wird von dem Pharmakonzern Pfizer hergestellt. Im Vorfeld hatte es Diskussionen darüber gegeben, ob diese neue Verabreichungsform ebenso verlässlich ist wie gespritztes Insulin.

Eiskalt gelöst

Keramik eignet sich wegen seiner Härte für zahlreiche Anwendungen. Ihr Nachteil ist aber ihre Sprödigkeit. In *Science* stellen amerikanische Materialforscher nun eine Technik zur Herstellung von Keramik vor, die Energie besser absorbieren kann und dadurch sehr bruchfest wird. Keramikpulver wird dabei in Wasser gelöst und tiefgefroren. Das Eis wird verdampft, zurück bleibt eine poröse Struktur, die mit einem organischen Polymer oder Metall aufgefüllt werden kann. Als Anwendungen kämen unter anderem künstliche Knochen oder kugelsichere Kleidung in Frage.

Fix produziert

Ein schnelleres Verfahren zur Bereitstellung von Impfstoff im Falle einer Vogelgrippe-Pandemie haben Wissenschaftler der Universität Pittsburgh in der aktuellen Ausgabe des *Journal of Virology* vorgeschlagen. Sobald der Erreger identifiziert ist, könnte man den Stoff innerhalb von nur 36 Tagen produzieren. Anstelle von Hühneriern würden Bakterienkulturen zum Einsatz kommen. Die Impfwirkung soll auf einem Teilstück des Erbgutes des Vogelgrippe-Virus beruhen, das in ein Adenovirus eingebaut wird. Große Teile der Bevölkerung sind allerdings bereits immun gegen Adenoviren. Eine Wirkung würde bei ihnen möglicherweise ausbleiben.

Blitzartig gefaltet

Die gewaltige Gebirgskette der Anden ist offenbar in nur drei Millionen Jahren aufgeklappt worden. Mit diesem Befund hat Carmala Garzone von der University of Rochester vergangene Woche die Fachwelt überrascht. Die Geologin hatte dazu den Gehalt an bestimmten Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen in Sedimenten im bolivianischen Altiplano untersucht. In beiden spiegelt sich die damalige Höhe der benachbarten Berge wider. Das Resultat stützt eine bislang unbewiesene Theorie, nach der bei der Anden-Entstehung nicht nur die Erdkruste, sondern auch der Erdmantel eine Rolle gespielt hat. (*Science* v. 27. 1.)

Fälschlich gelehrt

Mehr als die Hälfte aller sonnenähnlichen Sterne kreisen in Doppel- oder Mehrfachsternsystemen. Daher steht in so manchem Lehrbuch, das gelte auch für Sterne kleinerer Gewichtsklassen. Doch das stimmt nicht. Nach einer Studie, die demnächst in den *AstJ Letters* erscheint, sind die meisten sogenannten M-Zwerg-Sterne Singles – und damit zwei Drittel aller Sterne überhaupt. Dazu zählt auch jener M-Zwerg, bei dem gerade ein Planet gefunden wurde, der nur 5,5 Mal so groß ist wie die Erde.



ZIEMLICH UNANGENEHM

Echte Ayurveda-Kuren sind alles andere als ein Spaß, Seite 65



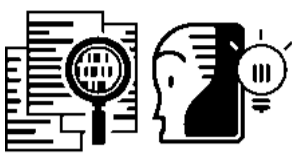
ZIEMLICH FETT

Im Zentrum unserer Milchstraße lauert ein massives Schwarzes Loch, Seiten 66-67



Frei erfunden	64
Bild am Sonntag	64
Familiengericht	70
Arm und reich	70
Rätsel, Cartoon	70

A bis Z



Atemwegsinfektionen

Kopfschmerzen, Tränen, Husten? Neben Influenzaviren und Pneumokokken gibt es zahlreiche andere Erreger, die diese Symptome auslösen.

Atemwegsinfekte holt man sich bevorzugt im Winter. Zu den häufigsten Erregern gehören Rbino- und Coronaviren. Sie sind die Auslöser der klassischen Erkältung. Schnupfen und Husten klingen meist nach einigen Tagen von selbst ab. Das Immunsystem von Kleinkindern und alten oder kranken Menschen kann allerdings mit ihrer Abwehr überfordert sein, dann drohen chronische Bronchitis und Lungenentzündung.

Das gilt auch für eine Infektion mit Influenzaviren, den Verursachern der echten Grippe. Während Influenza B nur einen Schnupfen auslöst, verursacht Typ A heftigere Symptome und hohes Fieber, das häufig sehr plötzlich auftritt. Gesunde Erwachsene überleben jedoch auch dies normalerweise ohne Probleme. Für Risikogruppen kann Influenza jedoch lebensgefährlich werden. So geht das Robert-Koch-Institut für die vergangene, besonders heftige Grippesaison in Deutschland 2004/2005 von bis zu 20 000 Todesfällen aus. In diesem Jahr gibt es in Deutschland zur Zeit keine Anzeichen einer Grippe (siehe „Bild am Sonntag“). Die Vogelgrippe, ebenfalls ein Influenza-A-Virus, wird bislang nicht von Mensch zu Mensch übertragen, und in Deutschland gab es noch keinen Einzelfall.

Vor allem Kinderärzten bereitet dagegen das Respiratory Syncytial Virus (RSV) Sorgen: Es kann schwere Akutsymptome einer Lungenentzündung und Atemstillstand (vor allem bei Frühgeborenen) auslösen und eine jahrelange Neigung zu Asthmaanfällen hinterlassen.

Neben Virusinfekten, die sich meist nur symptomatisch behandeln lassen, befallen auch eine Reihe von Bakterienarten wie Pneumokokken, Chlamydien und Legionellen die Atemwege des Menschen – vor allem, wenn diese durch einen Virusinfekt bereits vorgeschädigt sind. Bakterielle Lungenentzündungen, die erst im Krankenhaus erworben werden, liegen dabei auf Platz sechs der häufigsten Todesursachen. Eigentlich lassen sie sich medikamentös gut behandeln, doch weil Antibiotika zu häufig ohne Not verschrieben werden oder Patienten die strengen Einnahmeverpflichtungen vernachlässigen, entwickeln immer mehr Bakterienstämme Resistenzen gegen die gängigen Mittel.

Warum Atemwegsinfekte vor allem im Winter so sich greifen, ist immer noch unklar. Vermutlich spielt neben trockener Luft eine wichtige Rolle – und nicht so sehr die Kälte.

Fortsetzung von Seite 63

Trassen unter dem Hammer

Die Kunst einer funktionierenden Trassenbörse besteht einerseits darin, eine mathematische Formulierung zu finden, welche die Beziehungen zwischen vorhandenem Schienennetz und möglichen Wünschen abbildet und sie gemeinsam berechenbar macht. Andererseits muß die gesamte Formulierung genau genug sein, um aus den Ergebnissen – also den Trassenvergaben nach der Auktion – einen praxistauglichen Fahrplan abzuleiten.

Die Formulierung gelingt mit Hilfe der sogenannten Graphentheorie (siehe „Knoten und Kanten“). Das Ergebnis läßt sich dann mit Methoden der linearen Optimierung erreichen, die dafür fertige Lösungsverfahren, sprich Computerprogramme, anbietet. Sie spucken im Prinzip eine beweisbar optimale Lösung aus. „Die errechnete Trassenverteilung muß ja ein echtes Optimum sein – sonst könnten die Verkehrsunternehmen hinterher an und weisen dem Auktionator nach, daß man aus ihren Anfragen auch etwas Besseres hätte

machen können“, sagt Grötschel.

Die Frage lautet nun: Wie lange dauert es, bis die optimale Lösung gefunden ist? Die Sache wäre hoffnungslos, hätte die lineare Optimierung in den vergangenen zwanzig Jahren nicht so atemberaubende Fortschritte gemacht. Robert Bixby von der Rice University in Texas hat sich vor vier Jahren in ei-

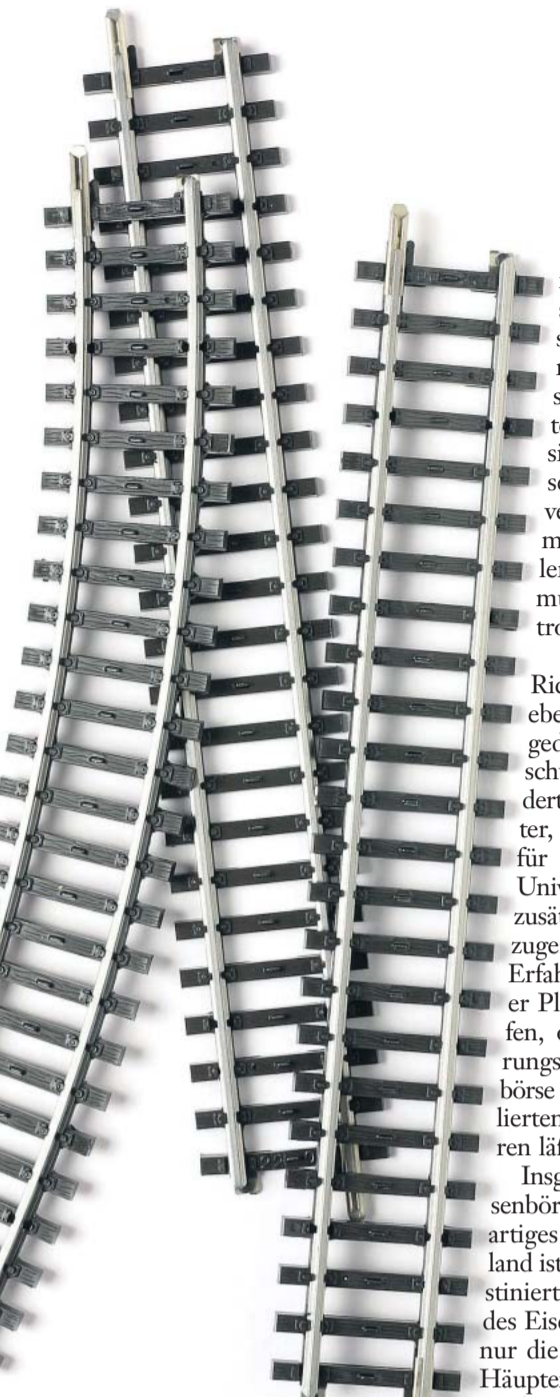
Die Kunst der linearen Optimierung hat atemberaubende Fortschritte gemacht.

nem langen Aufsatz einmal die Mühe gemacht, den damaligen mit dem heutigen Stand der Technik zu vergleichen. Das ist nicht einfach, weil die heute üblichen Optimierungsfragen damals so viel Rechenzeit gekostet hätten, daß sie niemandem auch nur in den Sinn gekommen wären. „Ohne Computer würde es lineare Optimierung

in der heutigen Form gar nicht geben“, schreibt Bixby. „Heutige PCs übertreffen in ihrer Rechenleistung bei weitem die besten Supercomputer von vor zehn Jahren.“ Je nach Rechenmethode sind die Optimierer schon aus diesem Grund tausendfach schneller am Ziel.

Doch der Fortschritt besteht nicht nur aus schierer Computerpower. Verbesserte Algorithmen, also neu erdachte Rechenwege, haben einen ebenso großen Anteil daran, daß Lösungen heute sogar millionenfach schneller vorliegen können als einst. Weitere Verbesserungen sind mit Händen zu greifen, weshalb Martin Grötschel für seinen Teil der Trassenbörse eine Prognose wagt: „Mit Abschluß der laufenden Projektphase werden wir, wenn wir die nötigen Streckendaten erhalten, sicherlich vierzig bis fünfzig Prozent des deutschen Schienennetzes erfolgreich berechnen können.“

In der abgelaufenen Phase haben die Trassenbörsler nun ein kleines Testnetz angelegt, das die Strecken im Raum Hannover, Braunschweig, Kassel und Fulda beschreibt. Dort schießt die Deutsche Bahn heute an jedem Werktag innerhalb von sechs Stunden 310 Züge über die Schienen. Die Forscher ließen sich test-



male Lösung und bringt in den zur Verfügung stehenden sechs Stunden 420 Züge unter. Zeigen sich die Anbieter jedoch entspannter und dulden eine jeweils bis zu vier Minuten spätere Abfahrt, dann brütet der Computer schon einen ganzen Tag lang über seiner Aufgabe. Ergebnis: Prompt kriegt er 617 Züge in sechs Stunden unter. Und die erzielten Auktionseinnahmen steigen um 28 Prozent. Bei nur einer einzigen Minute zusätzlicher Toleranz (jeder Zug darf bis zu fünf Minuten später im Fahrplan stehen) stopft der Computer nach drei Tagen Rechenzeit sogar 737 Züge in demselben Zeitraum. Allerdings steigen die Auktionseinnahmen dann kaum mehr weiter.

Auch hier läßt sich also kräftig optimieren. Noch in diesem Frühjahr möchten die Ökonomen eine erste Version der sogenannten Auktionssoftware festschreiben – welche Möglichkeiten Verkehrsunternehmen also erhalten, ihre Gebote für die Versteigerung auszudrücken. Eine Sprache ist das nur im übertragenen Sinn: Mitsuhs Mitarbeiter Andreas Tanner will eine PC-Software schreiben, in der die Anbieter auf einer Karte des Schienennetzes ihre Wünsche anklicken können. „Damit gehe ich dann zu den Eisenbahnunternehmen und lasse sie testen, ob das Programm ihren alltäglichen Anforderungen gerecht würde“, sagt er.

Da stellt sich natürlich die Frage, ob nicht auch die Auktionsteilnehmer ihre Bietstrategien opti-

male Lösung und bringt in den zur Verfügung stehenden sechs Stunden 420 Züge unter. Zeigen sich die Anbieter jedoch entspannter und dulden eine jeweils bis zu vier Minuten spätere Abfahrt, dann brütet der Computer schon einen ganzen Tag lang über seiner Aufgabe. Ergebnis: Prompt kriegt er 617 Züge in sechs Stunden unter. Und die erzielten Auktionseinnahmen steigen um 28 Prozent. Bei nur einer einzigen Minute zusätzlicher Toleranz (jeder Zug darf bis zu fünf Minuten später im Fahrplan stehen) stopft der Computer nach drei Tagen Rechenzeit sogar 737 Züge in demselben Zeitraum. Allerdings steigen die Auktionseinnahmen dann kaum mehr weiter.

Flexibilität ist das Zauberwort: Schon passen 200 Züge mehr auf die Strecke.

rischen und dem österreichischen zum Herz der europäischen Bahn und braucht in Iglmann Sicht eine entsprechende Organisation. „Selbst wenn wir niemals Trassen versteigern – allein die Möglichkeit, Szenarien für die Nutzung und Erweiterung dieses Netzes durchzuspielen, wird schon neue Dimensionen der Erkenntnis eröffnen“, schwärmt Trassenbörsen-Vordenker Gottfried Ilgmann.

Diese Erkenntnis könnte nicht zuletzt viel Geld wert sein. Bei strukturellen Optimierungen im Nahverkehr haben mathematische Modelle im Einzelfall schon zwanzig oder mehr Prozent der Kosten eingespart, ohne daß die Angebotsqualität darunter litt. Falls die Nutzungsoptimierung des deutschen Bahnnetzes ähnliche Potentiale birgt, dann ist beim Umsatz der deutschen Verkehrsbranche schnell die eine oder andere Milliarde zusammengesparrt.

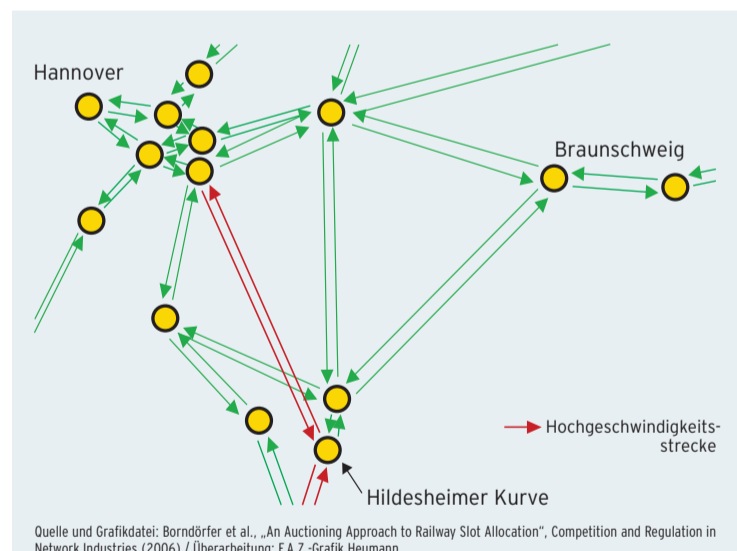
Knoten und Kanten: Die Mathematik der Trassenbörse

Ein Schienennetz ist eine Inkarnation von etwas, was Mathematiker einen „Graphen“ nennen: ein Gebilde aus Knödeln und verbindenden Linien, die fachsprachlich Knoten und Kanten heißen. Die Knoten des Trassenbörse-Graphen stellen „Pseudo-Stationen“ dar. Das sind alle Orte, wo Züge aufeinander zurufen und um ein und dasselbe Durchfahrtsrecht rangeln – also nicht nur Bahnhöfe und ihre Ein- und Ausfahrtsleise, sondern auch alle wichtigen Weichen und Kreuzungen sowie Ausweichpunkte auf eingleisigen Strecken. So läßt sich jede Strecke in Dutzende oder Hunderte von versteigerungsfähigen Teilen stücken.

Die Kanten des Graphen schreiben dann fest, welche Art von Zug welchen Abschnitt zwischen welchen Knoten in welcher Zeit durchfahren kann. Dabei kommt man vorerst mit ein paar grundlegenden Zugtypen gut aus. Unterschiedlichstes Verhalten in Antriebsart (Strom oder Diesel) oder Beschleunigungs- und Bremsdynamik sind damit vom ICE bis zur S-Bahn ausreichend genau beschrieben.

Die Gebote treten nun als weitere Dimension hinzu. Dabei wird ein angemeinder Trassenwunsch in der Graphenwelt zu einer komplexen „UND“-Verknüpfung von zu belegenden Streckensegmenten. Da alternative Streckenführungen und Zeitspannen zugelassen sind, kommen auch „ODER“-Verknüpfungen dazu. All dies ist mit Gebotswerten belegt, jeder einzelne Aspekt läßt die Zahl der Möglichkeiten weiter explodieren.

Die Trassenwünsche so zu berücksichtigen ist dennoch praktisch. Es bedarf dann nur noch einiger Regeln, die mathematisch gesprochen, als Randbedingungen den Lösungsraum eingrenzen (etwa: Züge fahren jede ihrer Teilstrecken genau einmal) – und schon erhält man eine wohldefinierte Aufgabe für eine bewährte mathematische Disziplin, nämlich die lineare Optimierung. Es entsteht ein „ganzzähliges Programm“, eine schwierige Variante dieser Art von Problemen. kp.



Am Anfang ist der Graph: Ausschnitt aus dem Testnetz der Trassenbörse.

BILD AM SONNTAG

Wo steckt der Infekt?

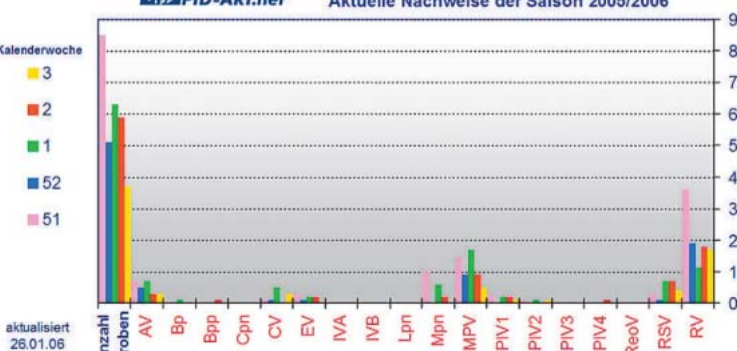
Einen „Moment der Windstille“ nennt Josef Weigl von der Kieler Universitäts-Kinderklinik die derzeit ungewöhnlich niedrige Zahl von ernsthaften Atemwegsinfektionen in Deutschland (siehe „A bis Z“). Weigl koordiniert das Pädiatrische-Atemwegsinfektions-Netzwerk (www.pid-ari.net). Auf der Website werden mehrmals wöchentlich aktuelle Daten aus Krankenhäusern und Praxen veröffentlicht. Die vergangenen Wochen sind in unterschiedlichen Farben dargestellt, so daß ein Anschwellen oder Abflauen der Infektionsraten leicht erkennbar ist.

Darüber, wie repräsentativ diese Trends sind, läßt sich allerdings streiten. Bislang stammen die Sekretproben für die Erregeranalyse aus drei Kliniken in Kiel, den beiden Universitäts-Kinderkliniken in Mainz und Freiburg sowie aus acht Arztpraxen. Das ist eine relativ schmale Datenbasis,

doch virologische und bakteriologische Analysen sind teuer. „Der Stichprobenumfang ist direkt an finanzielle Mittel gekoppelt“, sagt Weigl. Die sind Anfang dieses Jahres mit dem Ende einer sechs-jährigen Förderung durch das Bundesforschungsministerium fast vollständig verébt.

Händeringend sucht man nun nach Geld. Es sei gut möglich, daß das Projekt bald ganz eingestellt werden müsse, sagt Weigl. Dann wäre die Anschubfinanzierung der letzten Jahre für das international beachtete Projekt praktisch rausgeschmissenes Geld gewesen. Richard Friebe

MitAPID-ARI.net Aktuelle Nachweise der Saison 2005/2006



Neunzehn Erreger, 19 Abkürzungen. Das Bild zeigt den Stand der dritten Kalenderwoche im Vergleich zu den vorherigen. Ganz links die Gesamtzahl der untersuchten Sekretproben. AV = Adenovirus; BP = Bordetella pertussis; BPP = Bordetella parapertussis; Cpn = Chlamydia pneumoniae; CV = Coronavirus; EV = Enterovirus; IVA = Influenza Typ A; IVB = Influenza Typ B; Lpn = Legionella pneumophila; Mpn = Mycoplasma pneumoniae; MPV = humanes Metapneumovirus; PIV1 bis PIV4 = Parainfluenzavirus Typ 1 bis Typ 4; RSV = Respiratory Syncytial Virus; Reov = Reovirus; RV = Rhinovirus.

gen Förderung durch das Bundesforschungsministerium fast vollständig verébt.

Händeringend sucht man nun nach Geld. Es sei gut möglich, daß das Projekt bald ganz eingestellt werden müsse, sagt Weigl. Dann wäre die Anschubfinanzierung der letzten Jahre für das international beachtete Projekt praktisch rausgeschmissenes Geld gewesen. Richard Friebe

FREI ERFUNDEN

Jedem seine Meise

VON JÖRG ALBRECHT

Siebenhunderttausend Erfindungen werden jährlich zum Patent angemeldet. Manche sind genial, andere überflüssig. Und dann gibt es da noch die, auf die wir nie gekommen wären.

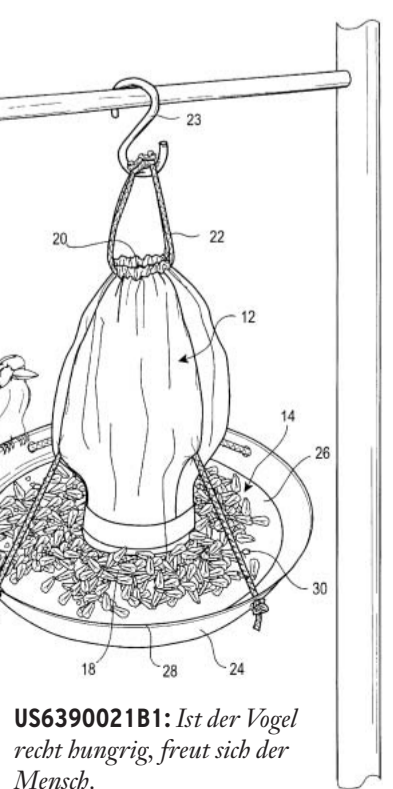
Wenn der Blick aus dem Fenster mal nicht reichen sollte, genügt ein Besuch im Supermarkt, um festzustellen, welche Jahreszeit gerade herrscht. Drei Dinge findet man jetzt dort garantiert: Frostschutzmittel, Streusalz und Meisenknödel. Alles aus ökologischen Gründen nicht ganz unbedenklich.

Soll man oder nicht? lautet die Gewissensfrage. Allein in Deutschland werden jedes Jahr mehrere hundert Millionen Euro für Vogelfutter ausgegeben. Gegen „maßvolles Füttern“ sei im Winter nichts einzuwenden, beruhigt der Naturschutzbund. Nichts wärmt schließlich in geringer als der Anblick unserer gefiederten Freunde, die sich hungrig auf die Sonnenblu-

menkerne stürzen. Damit die heimische Vogelwelt nicht komplett verweicht, sollte das Futterhäuschen allerdings spätestens im Frühjahr wieder verschwinden. Um so dankbarer ist man dann, wenn es nicht allzu sperrig ausgefallen ist.

Ron Krenzelt aus dem amerikanischen Bundesstaat Connecticut hat deshalb eine platzsparende Ausführung erdacht (US639002B1). Ein flexibler, zusammenfaltbarer Beutel aus wasserundurchlässigem Material (12) wird dazu mit Futter gefüllt, mit Kordeln (20, 22) verschlossen und an einem handelsüblichen Fleischerhaken (23) aufgehängt. Drei weitere Kordeln (16) halten mittels Knoten (32) eine Futterschale (26). Vorgebohrte Löcher (30) sorgen dafür, daß Wasser abfließen kann, ohne daß die Futterkörner zu Boden fallen.

Es wird nicht lange dauern, und die ersten Gäste stellen sich ein;



US639002B1: Ist der Vogel recht hungrig, freut sich der Mensch.

ELEMENTAR

Eisen

VON ULF VON RAUCHHAUPT

Nur etwa 100 Grundstoffe bilden die enorme Vielfalt der stofflichen Welt. Einigen begegnen wir fast überall, von anderen hören wir seltener.

Das Kostbarste, was man 1325 v. Chr. ins Grab legte, war nicht aus Gold oder Lapislazuli. Es war eine Klinge aus Eisen. Das „feste Metall“, so die Bedeutung des gotischen Wortes „isarn“, findet sich in Ägypten zwar schon in viel älteren Gräbern. Man gewann es aus extrem seltenen Meteoriten. Das Material für die Klinge des jungen Pharaos hätte aber auch aus dem Hethiterreich stammen können. Dort wurde die Verhüttung des unedlen Schwermetalls um 1400 v. Chr. entdeckt – und blieb ein streng gehütetes Stück Rüstungstechnologie.

Nach dem Untergang der Hethiter zehnwundert Jahre später kam es zur weltweiten Proliferation. Heute beruht unsere gesamte Zivilisation auf diesem Element, dessen Eigenschaften sich durch Wärmebehandlung und Zulegierung anderer Elemente verändern lassen wie bei keinem anderen Metall. Etwa 1800 verschiedene Eisensorten gibt es. Am häufigsten, ob beim Autoblech oder in Eisenbahnschienen, begegnet es uns als Stahl. Der ist nichts weiter als Eisen, das von dem Koks, der dem Eisenerz im Hochofen den Sauerstoff entzieht, einen Kohlenstoffanteil von weniger als 2,1 Prozent behalten hat. Mehr Kohlenstoff macht Eisen spröde.

Auch chemisch gesehen leben wir in einer Welt aus Eisen. Es ist das häufigste Element der Erde. Durch eine Gnade der Natur hat ausgerechnet dieses Allerelemente eine kuriose Eigenschaft: Eisenatome können, je nach Umfeld, Elektronen abgeben oder aufnehmen. Und auf diesem Wertigkeitswechsel beruht die Rolle des Eisens in so manchen lebenswichtigen Biomolekülen.

Sollte es auf anderen Planeten Leben geben, wäre es nicht verwunderlich, wenn auch dessen Stoffwechsel sich des Eisens bediente.

Denn Eisen ist auch eines der häufigsten Elemente im Universum. Das liegt daran, daß das Isotop Eisen-56 das schwerste ist, das noch mit Energiegewinn aus der Verschmelzung leichterer Kerne, wie sie im Inneren von Sternen ablaufen, entsteht – und geschieht damit seltener. In ferner, sehr ferner Zukunft, wenn alle Sterne verloschen sind, wird das Universum daher zum guten Teil aus Eisen bestehen.



Eisernes Rom: Nagel vom vermurten Ort der Varusschlacht.

Foto Dieter Rühl

der Patentzeichnung zufolge könnte es sich um einen Sperling, einen Finken oder eine Ammer handeln. Weitaus wahrscheinlicher in unseren Breiten ist aber, daß es doch nur wieder die Kohlmeise ist. Dieser häufigste aller Park- und Gartenbewohner ist robust genug, um scheuere Vertreter wie Kleiber oder Rotkehlchen von jedem Futterplatz zu vertreiben.

Die amerikanische Patentbehörde hat den Krenzelschen Futtersack ausgiebig geprüft und dabei nicht weniger als 14 Vorläuferpatente herangezogen. Einsteilen ist er jetzt mit einem „Reexamination Certificate“ versehen, was soviel heißt, daß Ron Krenzelt noch einen weiten Weg bis zur Weltmarktführerschaft auf dem Vogelfutterhäuschen vor sich hat.

Wir danken unserem Leser Werner Bernlöhr für diesen Hinweis. Kennen Sie ein ähnlich nützliches Patent? Schicken Sie die Patentnummer an Sonntagszeitung@faz.de