

Algorithmen zur Visualisierung von Graphen

Einführung, kräftebasierte Verfahren

Vorlesung im Sommersemester 2009

Martin Nöllenburg

23.04.2009

Organisatorisches

Dozent

- » Martin Nöllenburg <noellenburg@iti.uka.de>
- » Raum 319
- » Sprechzeiten: jederzeit nach Vereinbarung per Mail

Termine

- » Vorlesung: donnerstags 14:00 Uhr, Raum 301
- » Übung: 14tägig dienstags 9:45 Uhr, Raum 131 (ab 05.05.)

Organisatorisches

Vorlesungshomepage

» i11www.iti.uka.de/teaching/sommer2009/graphdrawing/index

- » aktuelle Informationen
- » Übungsblätter (montags in der Woche vor der Übung)
- » Folien
- » Zusatzmaterial
- » Skript

Organisatorisches

Vertiefungsfächer

- » Theoretische Grundlagen
- » Algorithmentechnik

weitere Vorlesungen am Lehrstuhl

Algorithmen für planare Graphen (2+1)

- » Di 14:00 Uhr Raum 301

Algorithmen für Routenplanung (2+1)

- » Fr 9:45 Uhr Raum 301

Algorithmen für Ad-hoc- und Sensornetze (2+0)

- » Mi 14:00 Uhr Raum 301

Nützliche Vorkenntnisse

Basiswissen Graphentheorie

- » Graph, Knoten, Kanten
- » Knotengrad, Nachbarschaft, adjazent, inzident
- » Zusammenhang, Baum, Kreis, Pfad

Basiswissen Algorithmik

- » Laufzeit, O -Kalkül
- » Komplexität, NP-Vollständigkeit
- » Netzwerkflüsse
- » Lineare Programmierung

Ansonsten: **Nachfragen!**

Vorlesungsaufbau

Medien

- » Tafel & Folien
- » Übungsblätter zur Vertiefung des Stoffs
- » (vorläufiges) Skript

Inhalte

- » Reduzierung der Visualisierung auf **algorithmischen** Kern
- » Modellierung, Algorithmen, Beweise
 - » kräftebasierte Verfahren
 - » kombinatorische Optimierung (Flüsse, ILPs)
 - » Algorithmen für spezielle Graphen (z.B. Bäume)

Einführung Graphenvisualisierung

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

Darstellungsformen?

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

Darstellungsformen?

Mengenschreibweise

$$\begin{aligned}
 V &= \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}\} \\
 E &= \{\{v_1, v_2\}, \{v_1, v_8\}, \{v_2, v_3\}, \{v_3, v_5\}, \{v_3, v_9\}, \\
 &\quad \{v_3, v_{10}\}, \{v_4, v_5\}, \{v_4, v_6\}, \{v_4, v_9\}, \{v_5, v_8\}, \\
 &\quad \{v_6, v_8\}, \{v_6, v_9\}, \{v_7, v_8\}, \{v_7, v_9\}, \{v_8, v_{10}\}, \\
 &\quad \{v_9, v_{10}\}\}
 \end{aligned}$$

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

Darstellungsformen?

Mengenschreibweise

Adjazenzliste

```

v1 : v2, v8
v2 : v1, v3
v3 : v2, v5, v9, v10
v4 : v5, v6, v9
v5 : v3, v4, v8
v6 : v4, v8, v9
v7 : v8, v9
v8 : v1, v5, v6, v7, v9, v10
v9 : v3, v4, v6, v7, v8, v10
v10 : v3, v8, v9
  
```

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

Darstellungsformen?

Mengenschreibweise

Adjazenzliste

Adjazenzmatrix

$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

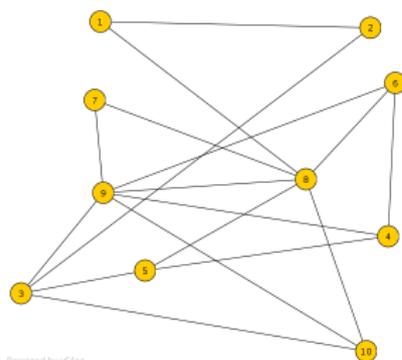
Darstellungsformen?

Mengenschreibweise

Adjazenzliste

Adjazenzmatrix

Zeichnung



Powered by yFiles

Graphen und ihre Darstellung

Was ist ein Graph?

Tupel $G = (V, E)$

Knotenmenge $V = \{v_1, \dots, v_n\}$

Kantenmenge $E = \{e_1, \dots, e_m\}$

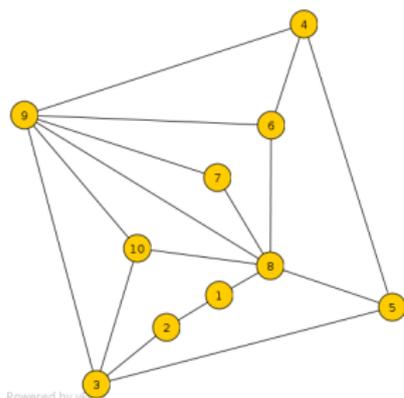
Darstellungsformen?

Mengenschreibweise

Adjazenzliste

Adjazenzmatrix

Zeichnung



Powered by yj

Graphen und ihre Darstellung

$$V = \{v_1, v_2, v_3, v_4, v_5, v_6, v_7, v_8, v_9, v_{10}\}$$

$$E = \{\{v_1, v_2\}, \{v_1, v_8\}, \{v_2, v_3\}, \{v_3, v_5\}, \{v_3, v_9\}, \{v_3, v_{10}\}, \{v_4, v_5\}, \{v_4, v_6\}, \{v_4, v_9\}, \{v_5, v_8\}, \{v_6, v_8\}, \{v_6, v_9\}, \{v_7, v_8\}, \{v_7, v_9\}, \{v_8, v_{10}\}, \{v_9, v_{10}\}\}$$

$$v_1 : v_2, v_8$$

$$v_2 : v_1, v_3$$

$$v_3 : v_2, v_5, v_9, v_{10}$$

$$v_4 : v_5, v_6, v_9$$

$$v_5 : v_3, v_4, v_8$$

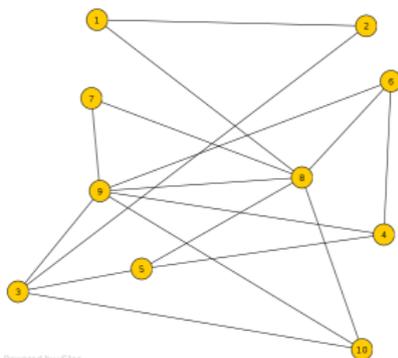
$$v_6 : v_4, v_8, v_9$$

$$v_7 : v_8, v_9$$

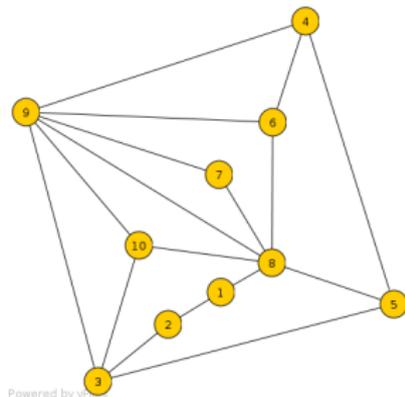
$$v_8 : v_1, v_5, v_6, v_7, v_9, v_{10}$$

$$v_9 : v_3, v_4, v_6, v_7, v_8, v_{10}$$

$$v_{10} : v_3, v_8, v_9$$



$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \end{pmatrix}$$



Powered by yFiles

Wozu Graphen zeichnen?

- » Graphen sind mathematische Repräsentationen von Netzwerken
- » Netzwerke tauchen in der Realität an den verschiedensten Stellen auf

abstrakte Netzwerke

- » soziale Netze
- » Kommunikationsnetze
- » phylogenetische Netze
- » Stoffwechselnetze
- » Klassenbeziehungen (UML)
- » ...

physische Netzwerke

- » Verkehrsnetze
- » Straßennetze
- » Versorgungsnetze
- » Rechnernetze
- » integrierte Schaltkreise
- » ...

Wozu Graphen zeichnen?

- » Graphen sind mathematische Repräsentationen von Netzwerken
- » Netzwerke tauchen in der Realität an den verschiedensten Stellen auf
- » ohne geeignete Visualisierung können wir (als Menschen) Netzwerke kaum verstehen
- » Visualisierungen sind nötig zur Kommunikation von bekannten und zur Exploration von unbekanntem Netzen

Wozu Graphen zeichnen?

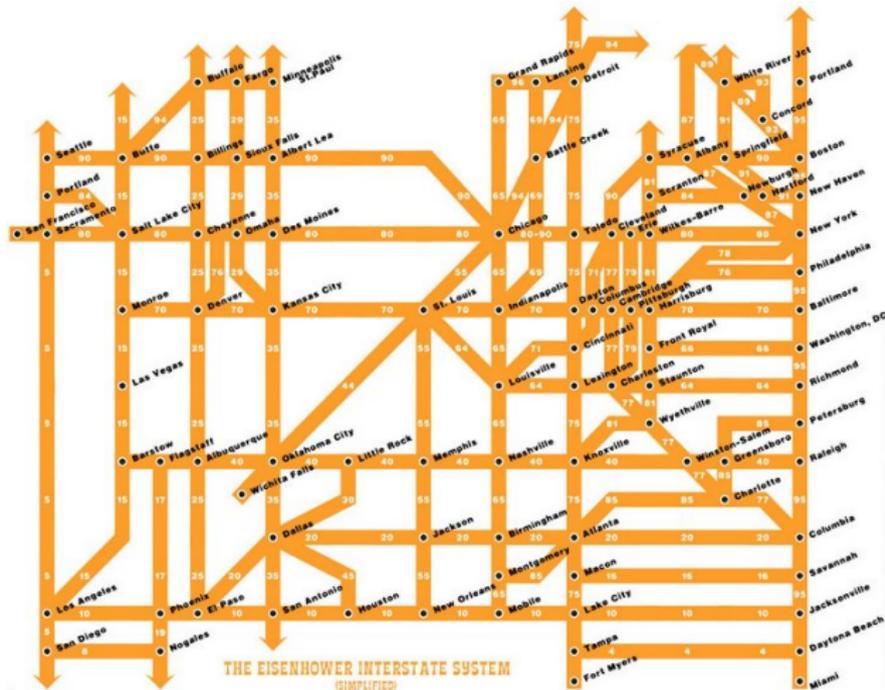
- » Graphen sind mathematische Repräsentationen von Netzwerken
- » Netzwerke tauchen in der Realität an den verschiedensten Stellen auf
- » ohne geeignete Visualisierung können wir (als Menschen) Netzwerke kaum verstehen
- » Visualisierungen sind nötig zur Kommunikation von bekannten und zur Exploration von unbekanntem Netzen

Es geht also darum Algorithmen zu entwerfen um Graphen automatisch zu zeichnen. Und zwar möglichst lesbar!

Beispiele

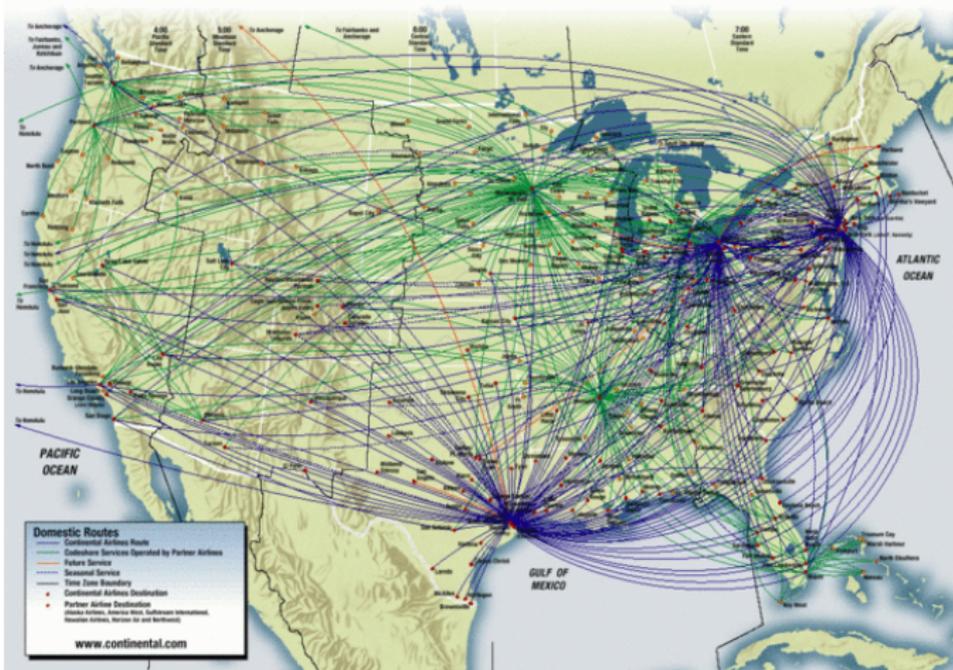
eine kleine Diaschau

Verkehrsnetze – Highways USA

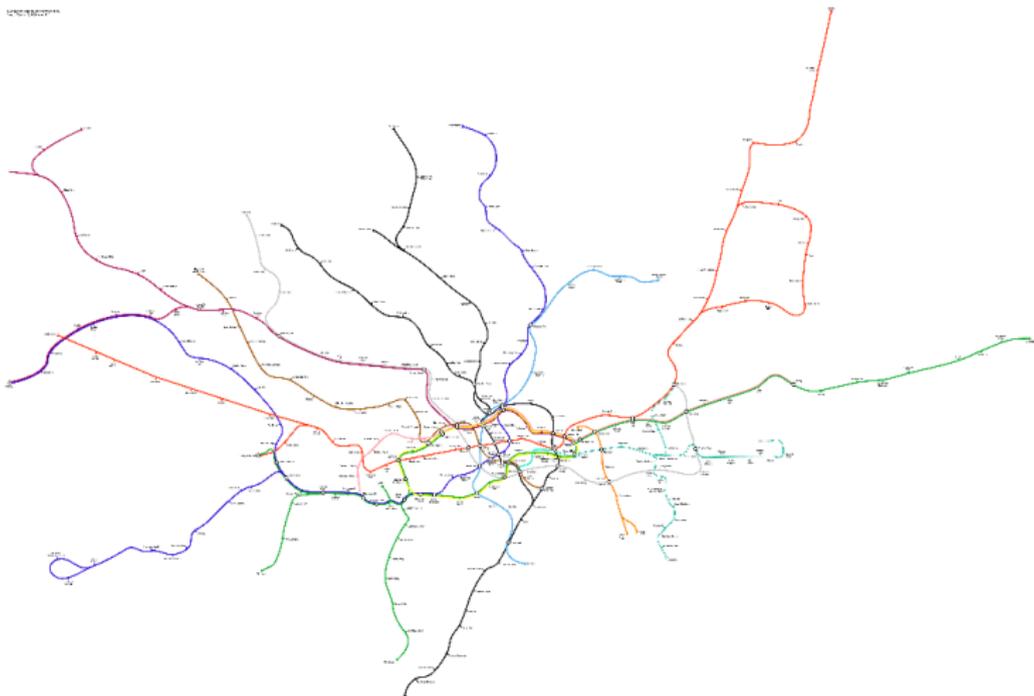


Algorithmen zur Visualisierung von Graphen

Verkehrsnetze – Flugverbindungen Continental



Verkehrsnetze – U-Bahnen London



Verkehrsnetze – U-Bahnen London



Algorithmen zur Visualisierung von Graphen



Verkehrsnetze – U-Bahnen London



Soziale Netze – Staatsfonds

FOLLOW THE MONEY

The New Global Wealth Machine

Sovereign wealth funds have emerged in recent months as the world's power brokers. They have used their tremendous wealth to make big cross-border investments and prop up some of Wall Street's best known firms. The increased activity comes as other kinds of investors have been sidelined by the credit crisis. These funds are state-sponsored investment vehicles and have combined assets of \$5 trillion. With that much to spend, sovereign funds dwarf the formerly leading cross equity industry – and in some cases, compete directly with it. The Government of Singapore Investment Corporation has been the most active among the world's sovereign funds, making its deputy chairman, Teng Teo, a major center of gravity. Wall Street veterans always follow the money, so many of the big-name advisers in New York and London have found themselves traveling the globe placing international mandates for these funds. But sovereign funds have also learned the drawbacks of deal-making: some of their blockbuster transactions have been big money losers so far. The questions is where all this money will go next. **ADVERTISER: PETER SCHWARTZ**

The Advisers

Selected financial advisers who worked on more than one of the top 20 deals.



CITIGROUP DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



MORGAN STANLEY DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



BLACKSTONE GROUP DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



STANDARD CHARTERED BANK DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



UBS DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



MERRILL LYNCH DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



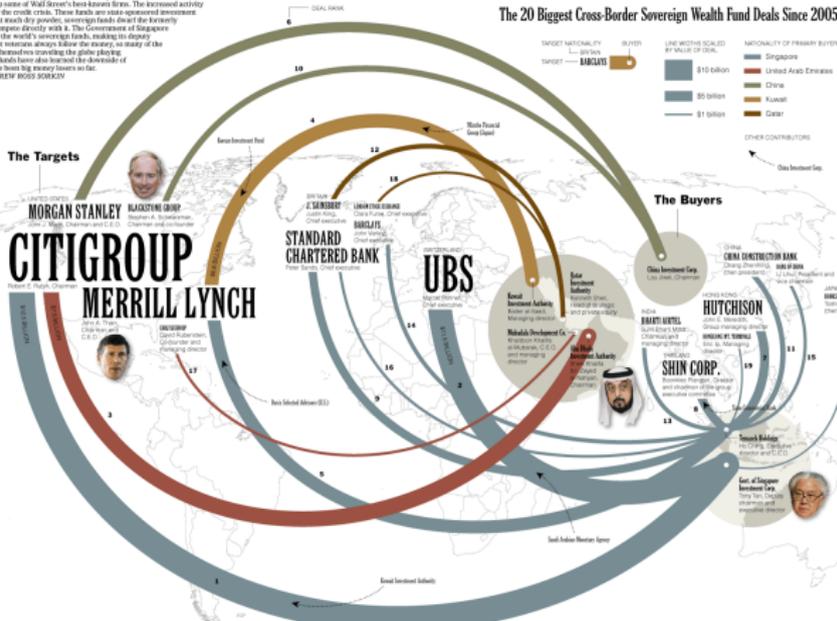
LAZARD DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



MOBSON STEINLEY DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



Keynote DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



The Lawyers

Selected lawyers who worked on more than one of the top 20 deals.



CLIFFORD CHANCE DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



James Baker, Partner and global head of private equity Mr. Baker has worked in London, was one of the early deal-makers in the sovereign wealth fund space, and has been one of the most active within the Wall Street firm's sovereign fund team.

DAVID PECK & WINTERHILL DEALS THIS ADVISER HAS PROVIDED IN



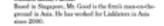
Ronald G. Oyster, Partner An head of the firm's sovereign wealth fund group, he has advised on more international deals in Europe and Asia. He also worked on the team that advised Morgan Stanley on a \$5.5 billion deal to buy in Chinese sovereign wealth fund.

THE BUYERS

Selected buyers who worked on more than one of the top 20 deals.



QIB INVESTMENT SAUDI DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



QIB INVESTMENT U.A.E. DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



QIB INVESTMENT CHINA DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



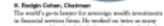
QIB INVESTMENT OTHER COUNTRIES DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



QIB INVESTMENT SAUDI ARABIA DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



QIB INVESTMENT U.A.E. DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



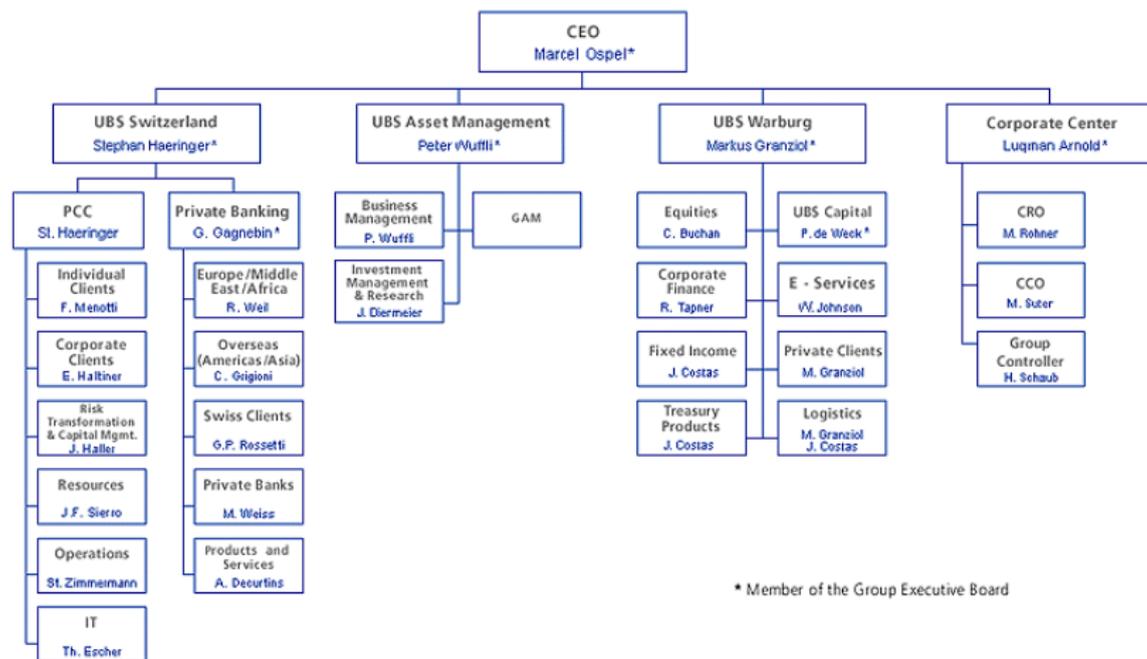
QIB INVESTMENT CHINA DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



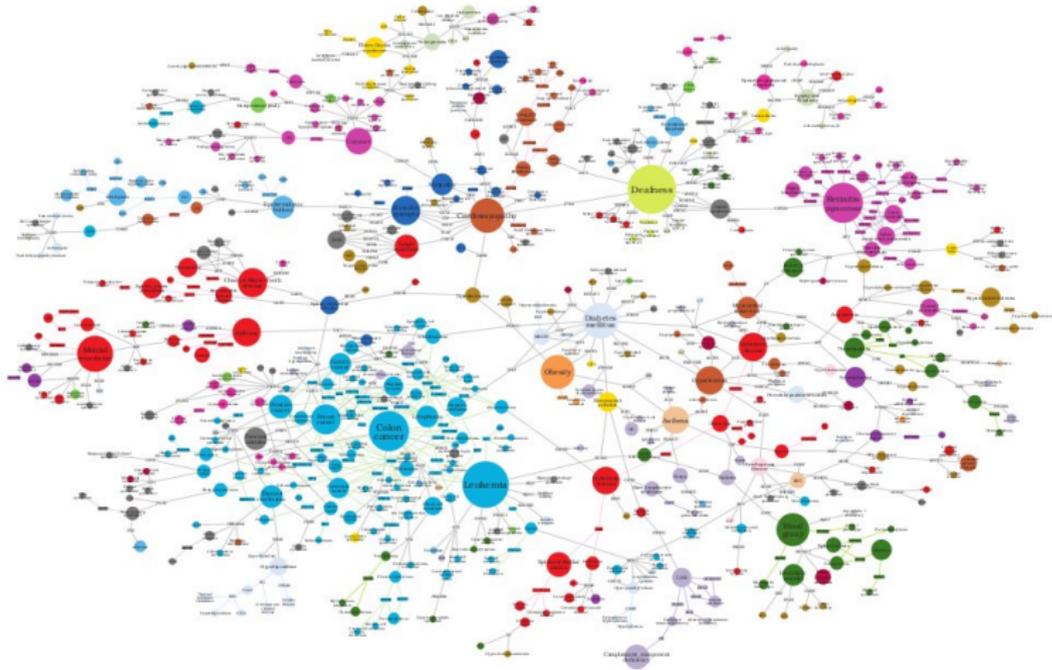
QIB INVESTMENT OTHER COUNTRIES DEALS THIS BUYER HAS PROVIDED IN



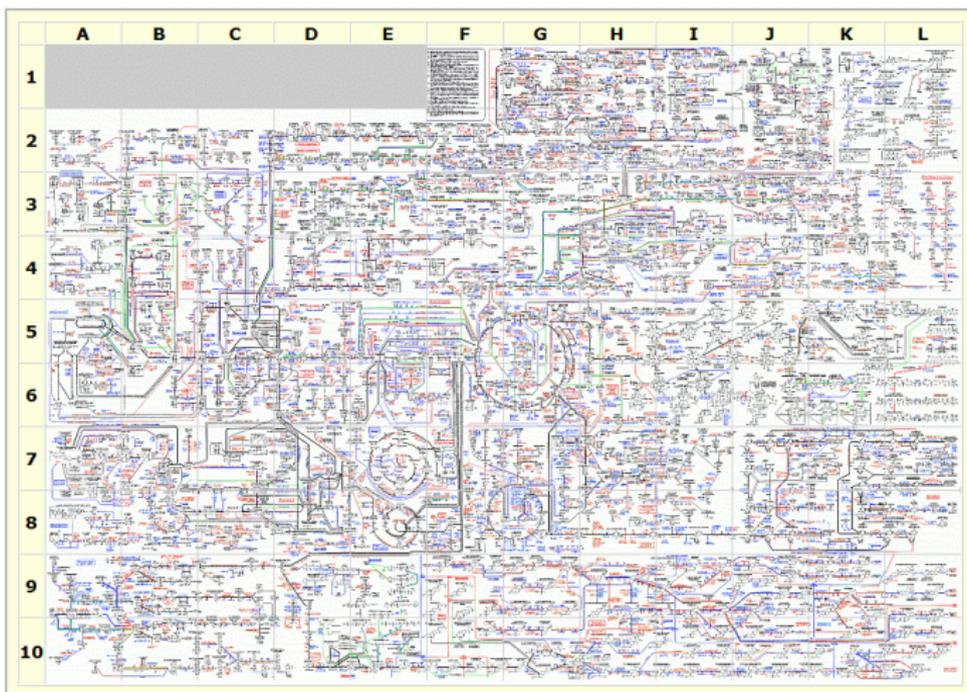
Soziale Netze – Organigramm UBS



Biomedizin – Diseaseome



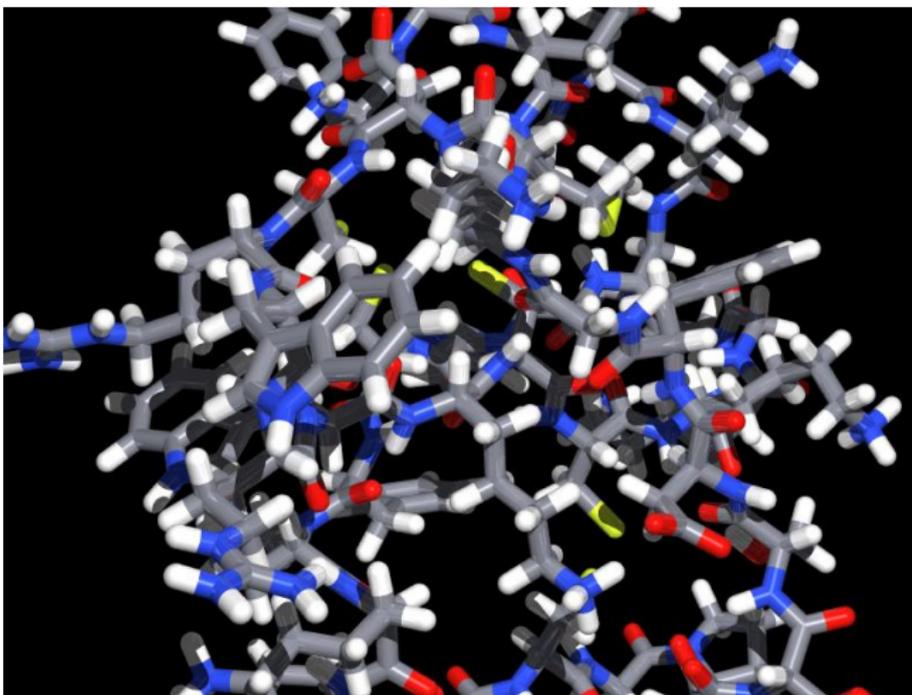
Biomedizin – molekularer Stoffwechsel



Algorithmen zur Visualisierung von Graphen



Biomedizin – Proteine

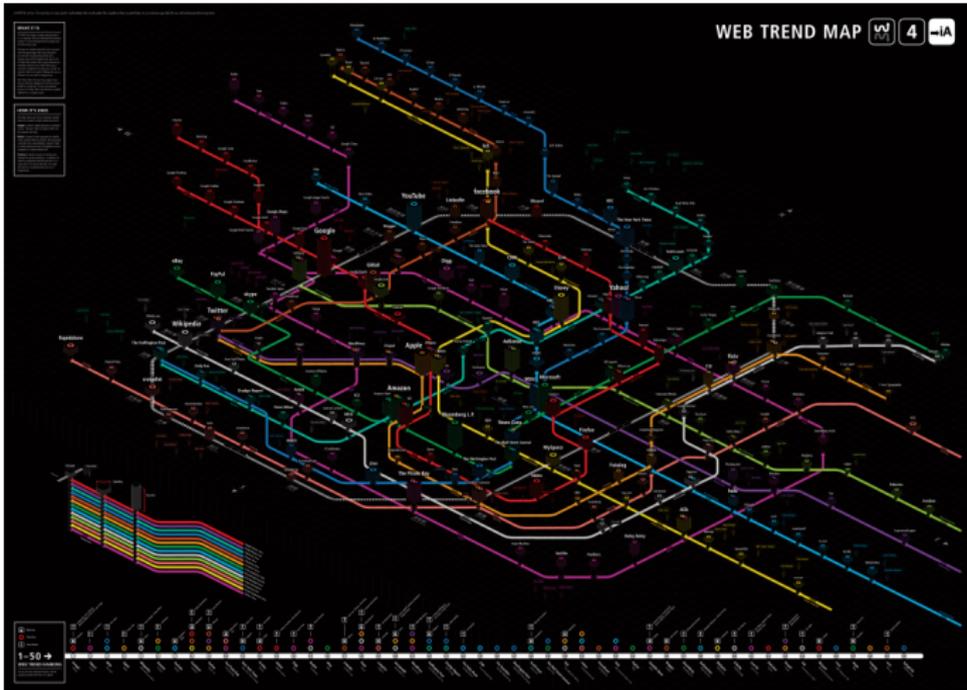


Algorithmen zur Visualisierung von Graphen

Technische Netze – Internet USA

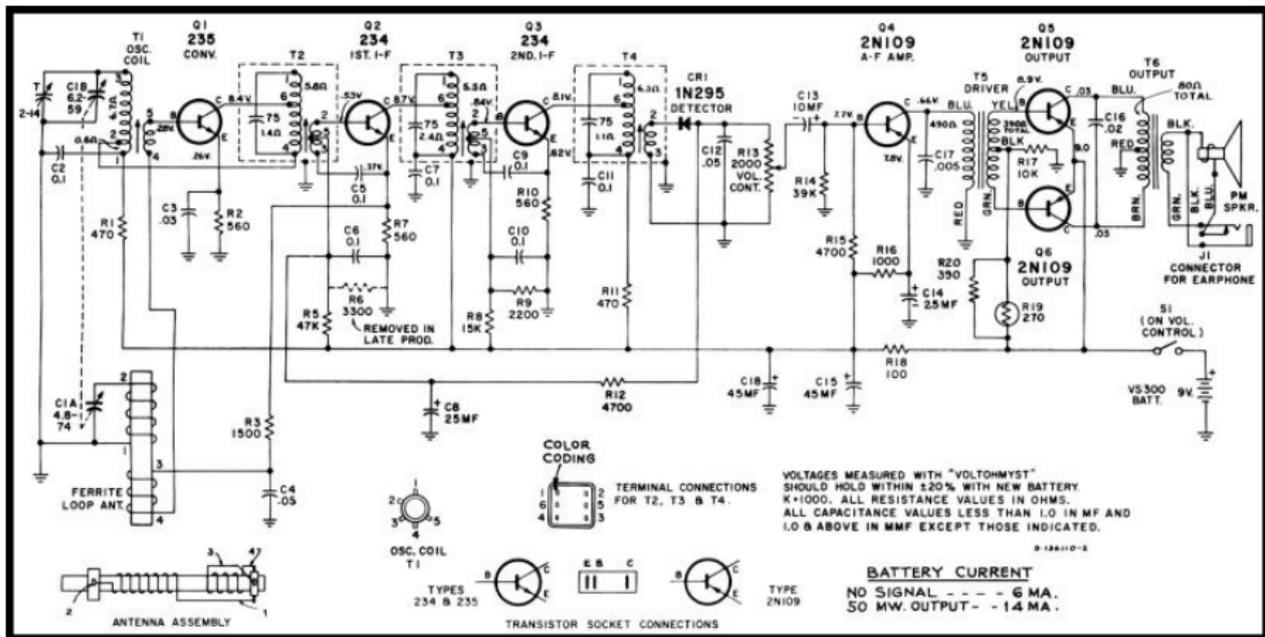


Technische Netze – Webtrends

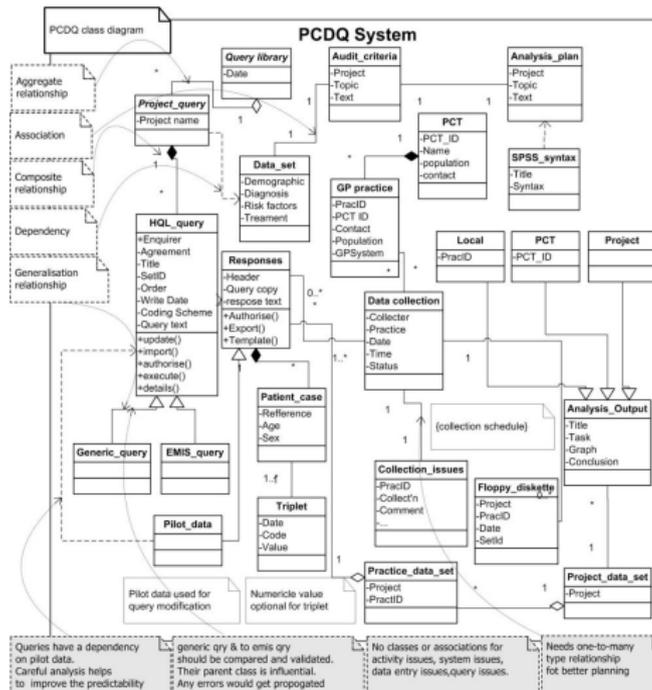


Algorithmen zur Visualisierung von Graphen

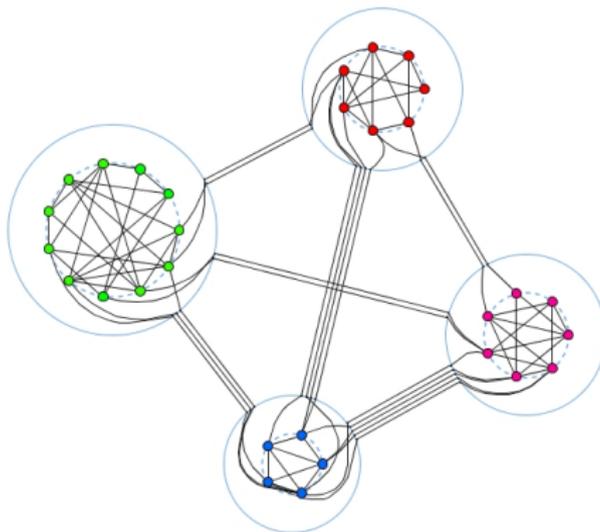
Technische Netze – Schaltpläne



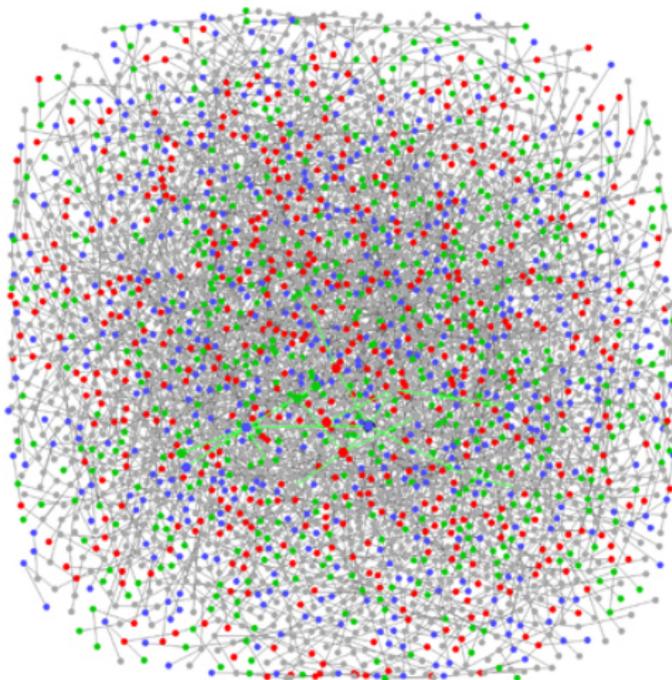
Technische Netze – UML Diagramme



Allgemeine Graphen – Mikro-Makro Layout



Allgemeine Graphen – große Graphen



Alternative Darstellungen – Inklusionsdiagramm

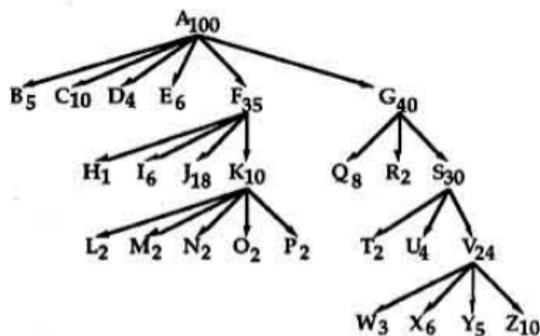


Figure 1: Traditional Tree Diagram Representation.

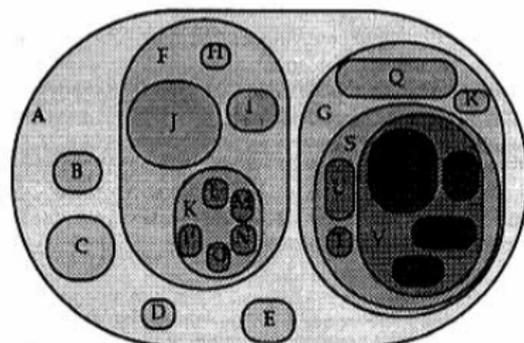
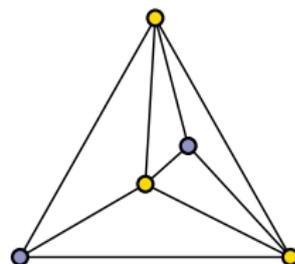
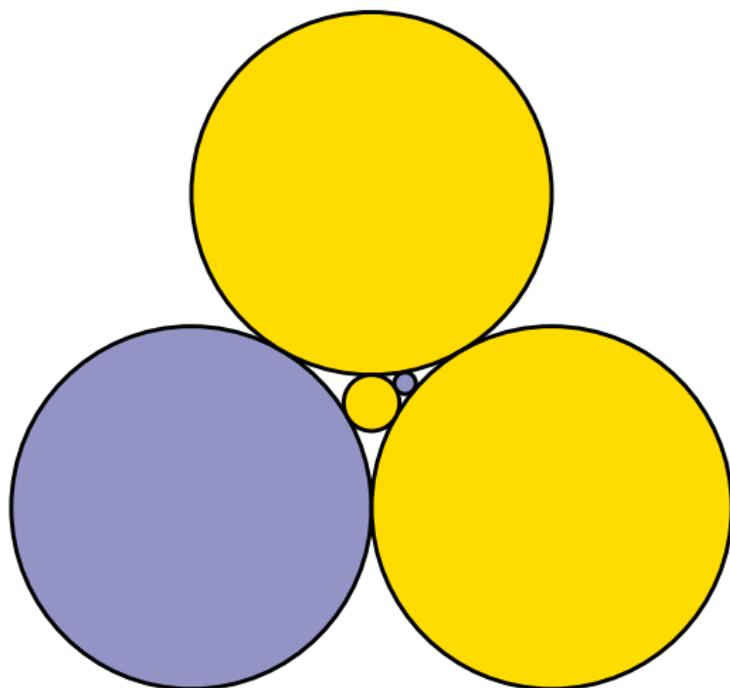


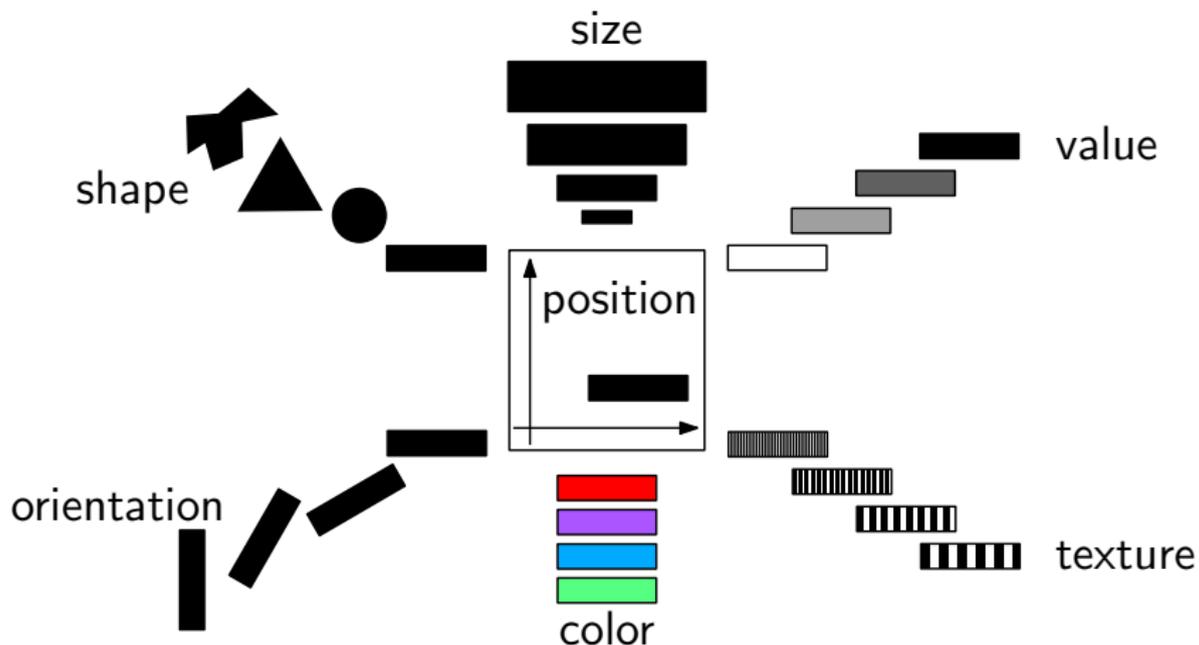
Figure 2: Venn Diagram Representation.
Node size is proportional to weight.

Alternative Darstellungen – Berührgraph

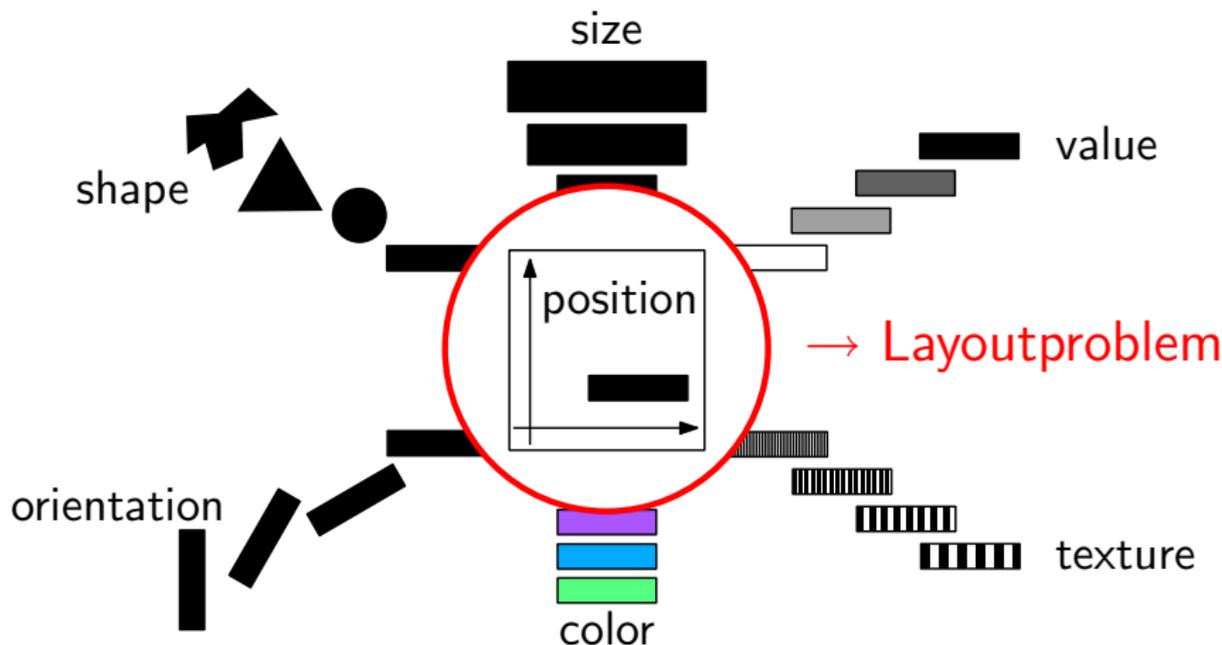


Grundlegende Definitionen

Visuelle Variablen nach Bertin (1967)



Visuelle Variablen nach Bertin (1967)



Definition Layoutproblem

Beschränkung auf sog. Punkt-Linien-Diagramme
(*Standardrepräsentation*)

Problem: Graphlayout

geg: Graph $G = (V, E)$

ges: *schöne* Zeichnung $\Gamma : V \cup E \rightarrow \mathbb{R}^2$

» Knoten $v \mapsto$ Punkt $\Gamma(v)$

» Kante $uv \mapsto$ einfache, offene Kurve $\Gamma(uv)$ mit Endpunkten $\Gamma(u)$ und $\Gamma(v)$

Definition Layoutproblem

Beschränkung auf sog. Punkt-Linien-Diagramme
(*Standardrepräsentation*)

Problem: Graphlayout

geg: Graph $G = (V, E)$

ges: *schöne* Zeichnung $\Gamma : V \cup E \rightarrow \mathbb{R}^2$

» Knoten $v \mapsto$ Punkt $\Gamma(v)$

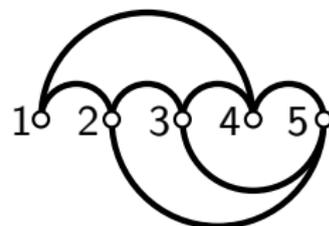
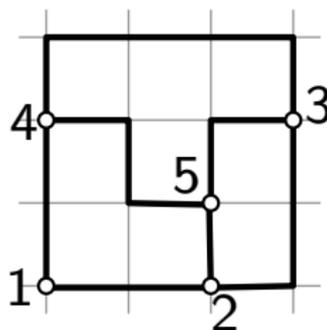
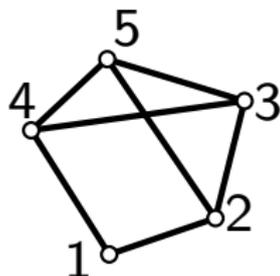
» Kante $uv \mapsto$ einfache, offene Kurve $\Gamma(uv)$ mit Endpunkten $\Gamma(u)$ und $\Gamma(v)$

Aber was ist eine *schöne* Zeichnung?

Anforderungen an ein Graphlayout

1) Zeichenkonventionen, erforderliche Eigenschaften, z.B.

- » geradlinige Kanten mit $\Gamma(uv) = \overline{\Gamma(u)\Gamma(v)}$
- » orthogonale Kanten (i.A. mit Knicken)
- » Gitterzeichnungen
- » kreuzungsfrei



Anforderungen an ein Graphlayout

- 1) Zeichenkonventionen, erforderliche Eigenschaften
 - 2) Ästhetikkriterien (zu optimieren), z.B.
 - » Kreuzungsminimierung
 - » Knickminimierung
 - » gleichmäßige Kantenlängen
 - » minimale Gesamtlänge/Fläche
 - » Winkelauflösung
- führen häufig zu NP-schweren Optimierungsproblemen!
- oft mehrere konkurrierende Kriterien

Anforderungen an ein Graphlayout

- 1) Zeichenkonventionen, erforderliche Eigenschaften
- 2) Ästhetikkriterien (zu optimieren)
- 3) Lokale Nebenbedingungen, z.B.
 - » Positionseinschränkungen für Nachbarknoten
 - » Einschränkungen für Gruppen von Knoten/Kanten

Layoutproblem zweiter Versuch

Problem: Graphlayout

geg: Graph $G = (V, E)$

ges: Zeichnung $\Gamma : V \cup E \rightarrow \mathbb{R}^2$, die

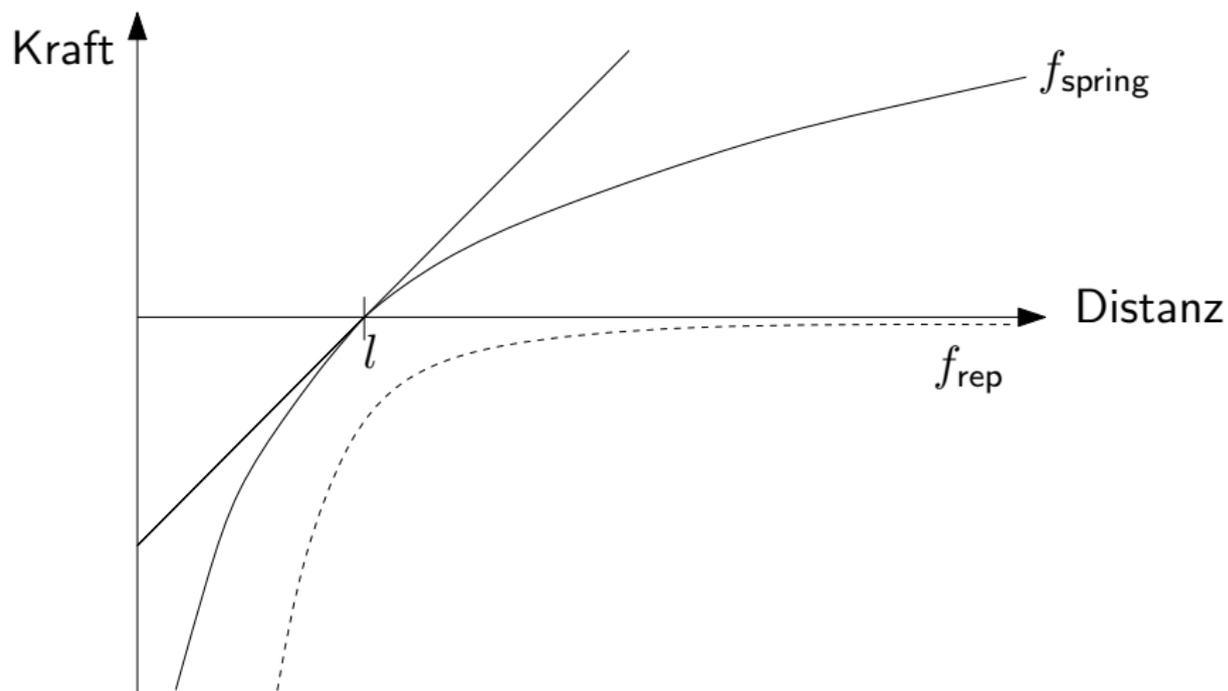
- » die Zeichenkonventionen erfüllt
- » die Ästhetikkriterien optimiert
- » ggf. weitere Nebenbedingungen erfüllt

» führt zu algorithmisch interessanten Fragestellungen

» nachgelagertes Renderingproblem bleibt außen vor

Kräftebasierte Algorithmen zum Zeichnen von Graphen

Kräftediagramm Eades



Kräfte diagramm Fruchterman und Reingold

