9.12.2011
Willkommen zur achten Übung zur Vorlesung

Grundbegriffe der Informatik

Karlsruhe Institute of Technology

Matthias Janke
email: matthias.janke ät kit.edu

Organisatorisches

- Anmeldung für den Übungsschein nicht vergessen!
- Gestern waren 423 Personen angemeldet
- Da fehlen evtl immer noch ein paar Anmeldungen...
- Anmeldung über Studierendenportal:
  http://www.kit.edu/studieren/2873.php

Überblick

Matrizen

Warshall-Algorithmus

Ein paar Matrizen

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

Ein paar Matrizen

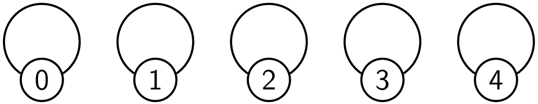
$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Einheitsmatrix

Ein paar Matrizen

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

Einheitsmatrix
Graph:



Ein paar Matrizen

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

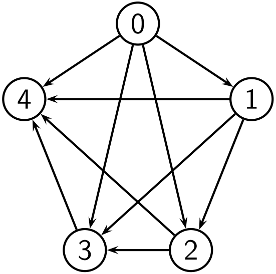
Allgemein:

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 0 \\ 0 & \dots & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Ein paar Matrizen

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

Graph:



Ein paar Matrizen

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

Allgemein:

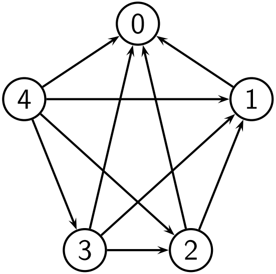
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & \ldots & 1 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & \ddots & 1 \\ 0 & \ldots & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

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

Pfeile umkehren?

Ein paar Matrizen

Pfeile umkehren?



Ein paar Matrizen

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

Pfeile umkehren?

Ein paar Matrizen

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

Pfeile umkehren $\Rightarrow (x, y) \in E' \iff (y, x) \in E$
$\Rightarrow A'_{ij} = 1 \iff A_{ji} = 1 \Rightarrow A'_{ij} = A_{ji}$
Spiegeln an Diagonale!

Ein paar Matrizen

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

Ungerichteter Graph?

Ein paar Matrizen

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

Ungerichteter Graph $U = (V, E')$?

$(x, y) \in E'_g \iff \{x, y\} \in E' \iff (x, y) \in E \lor (y, x) \in E$

Ein paar Matrizen

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

Ungerichteter Graph $U = (V, E')$?

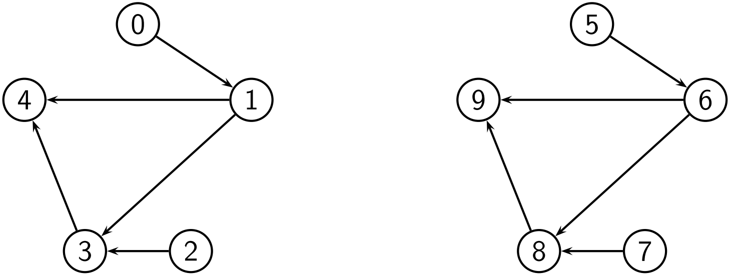
$(x, y) \in E'_g \iff \{x, y\} \in E' \iff (x, y) \in E \vee (y, x) \in E$

$A'_{ij} = 1 \iff A_{ij} = 1 \vee A_{ji} = 1 \Rightarrow A'_{ij} = sgn(A_{ij} + A_{ji})$

Ein paar Matrizen

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

Ein paar Matrizen



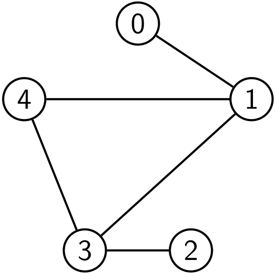
.

Ein paar Matrizen

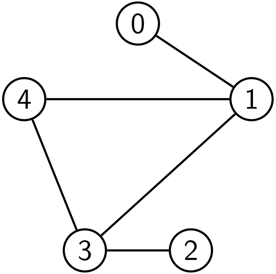
$$\begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1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

Ein paar Matrizen

$$\left(\begin{array}{ccccc|ccccc}
0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
\hline
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
\end{array}\right)$$

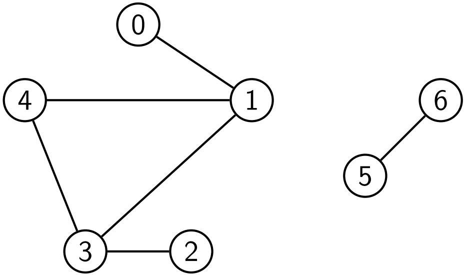

0
1
2
3
4

Wegematrizen von Graphen

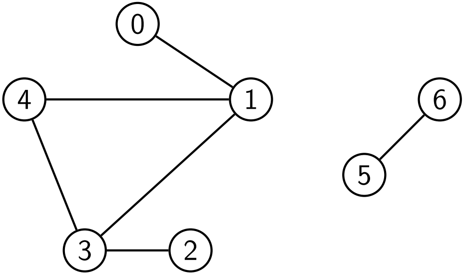


$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



Wegematrizen von Graphen

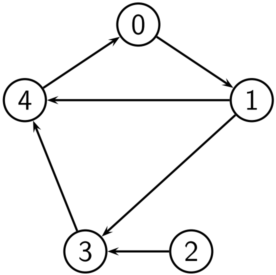


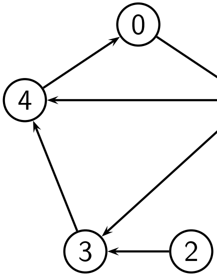
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Schematisch:

$$\left(\begin{array}{ccccc} 1 & \ldots & 1 & & \\ \vdots & \ddots & \vdots & \multicolumn{2}{c}{0} \\ 1 & \ldots & 1 & & \\ & & & 1 & 1 \\ \multicolumn{3}{c}{0} & 1 & 1 \end{array}\right)$$

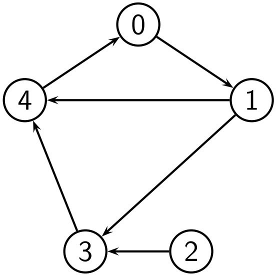
Wegematrizen von Graphen



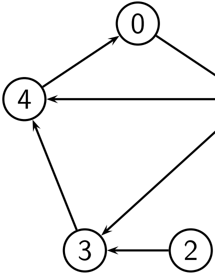


$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

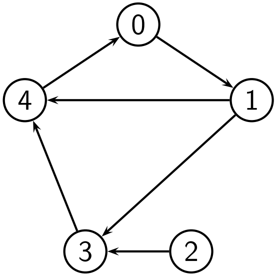
Wegematrizen von Graphen



$$A^2 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

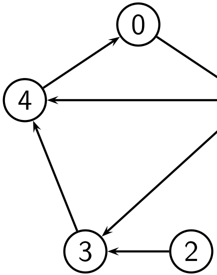


$$A^3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$



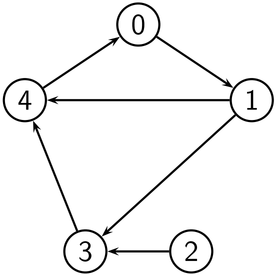
$$A^4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



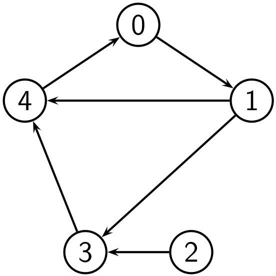
$$Summe = \begin{pmatrix} 3 & 2 & 0 & 1 & 2 \\ 2 & 3 & 0 & 2 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 2 & 2 \\ 2 & 1 & 0 & 1 & 3 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



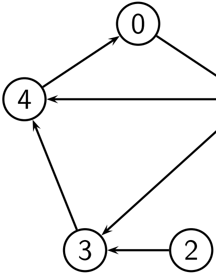
$$W = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



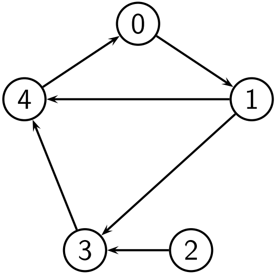
$$W_0 = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



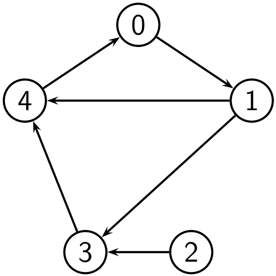
$$W_1 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



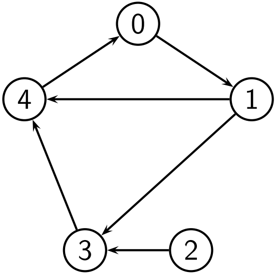
$$W_2 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



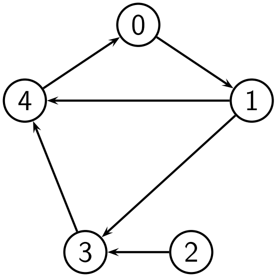
$$W_3 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



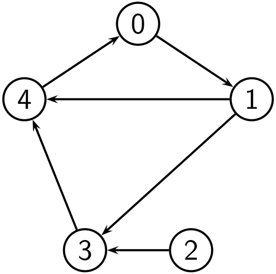
$$W_4 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & \color{red}{1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



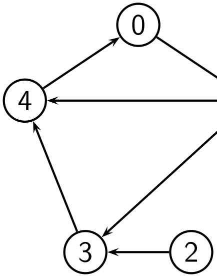
$$W_5 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ \color{red}{1} & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



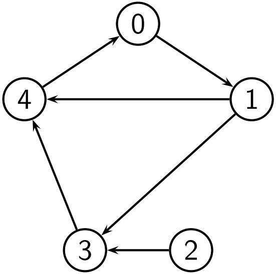
$$W_6 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & \color{red}{1} & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



$$W_7 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ \color{red}{1} & \color{red}{1} & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Wegematrizen von Graphen



$$W_8 = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

Geben Sie für die folgenden Matrizen jeweils an, ob sie Wegematrix eines Graphen sein können.
Begründen Sie Ihre Antworten! (Insbesondere: Geben Sie für Matrizen M, die Wegematrix sein können, einen Graphen an, dessen Wegematrix M ist.)

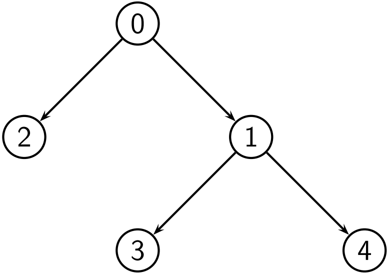
$$a)\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, b)\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$c)\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}, d)\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

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

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

- Die Matrix ist Wegematrix des folgenden Graphen:



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

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

- Die Matrix kann keine Wegematrix sein:
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.
- Laut Matrix gibt es aber keinen Pfad vom vierten Knoten zum zweiten Knoten. Widerspruch!

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

- Die Matrix kann keine Wegematrix sein:
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.
- Laut Matrix gibt es aber keinen Pfad vom vierten Knoten zum zweiten Knoten. Widerspruch!

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

- Die Matrix kann keine Wegematrix sein:
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.
- Laut Matrix gibt es aber keinen Pfad vom vierten Knoten zum zweiten Knoten. Widerspruch!

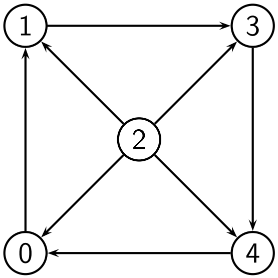
b) $\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$

- Die Matrix kann keine Wegematrix sein:
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom vierten Knoten zum ersten Knoten.
- Laut Matrix gäbe es einen Pfad vom ersten Knoten zum zweiten Knoten.
- Laut Matrix gibt es aber keinen Pfad vom vierten Knoten zum zweiten Knoten. Widerspruch!

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

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

- Die Matrix ist Wegematrix des folgenden Graphen:



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

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

- Die Matrix kann keine Wegematrix eines Graphen sein:
- Nach Matrix müsste es Pfade vom fünften zum ersten und vom ersten zum zweiten Knoten geben.
- Dann müsste es auch Pfad vom fünften zum zweiten Knoten geben. Widerspruch!

Überblick

Matrizen

Warshall-Algorithmus

Variation des Algorithmus:

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← A[i][j] + A[i][k] · A[k][j]
    od
  od
od
```

Variation des Algorithmus

for k=0 to $n-1$ do
  for i=0 to $n-1$ do
    for j=0 to $n-1$ do
    $A[i][j] \leftarrow A[i][j] + A[i][k] \cdot A[k][j]$
    od
  od
od

Wann ist $A[i][j]$ am Ende ungleich 0?

Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← A[i][j] + A[i][k] · A[k][j]
    od
  od
od
```

Wann ist $A[i][j]$ am Ende ungleich 0?

Durchlauf k: $A[i][j]$ ungleich 0, falls $A[i][j]$ vorher ungleich 0,

Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← A[i][j] + A[i][k] · A[k][j]
    od
  od
od
```

Wann ist $A[i][j]$ am Ende ungleich 0?

Durchlauf k: $A[i][j]$ ungleich 0, falls $A[i][j]$ vorher ungleich 0, oder sowohl $A[i][k]$ als auch $A[k][j]$ ungleich 0.

Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← A[i][j] + A[i][k] · A[k][j]
    od
  od
od
```

Wann ist $A[i][j]$ am Ende ungleich 0?

Durchlauf k: $A[i][j]$ ungleich 0, falls

$\max\{A[i][j], \min\{A[i][k], A[k][j]\}\}$ ungleich 0.

Weitere Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← max{A[i][j], min{A[i][k], A[k][j]}}
    od
  od
od
```

Wann ist $A[i][j]$ am Ende ungleich 0?

Durchlauf k: $A[i][j]$ ungleich 0, falls $\max\{A[i][j], \min\{A[i][k], A[k][j]\}\}$ ungleich 0.

Weitere Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← max{A[i][j], min{A[i][k], A[k][j]}}
    od
  od
od
```

→ Zweiter Teil des Warshall-Algorithmus nach Initialisierung!

Weitere Variation des Algorithmus

```
for k=0 to n-1 do
    for i=0 to n-1 do
      for j=0 to n-1 do
     A[i][j] ← sgn(A[i][j] + A[i][k] · A[k][j])
    od
  od
od
```

$\rightarrow$ Zweiter Teil des Warshall-Algorithmus nach Initialisierung!

Das wars für heute...

Themen für das achte Übungsblatt:

- schon wieder Graphen zeichen
- Adjazenz-/Wegematrizen
- Warshall Algorithmus

Schönes Wochenende!