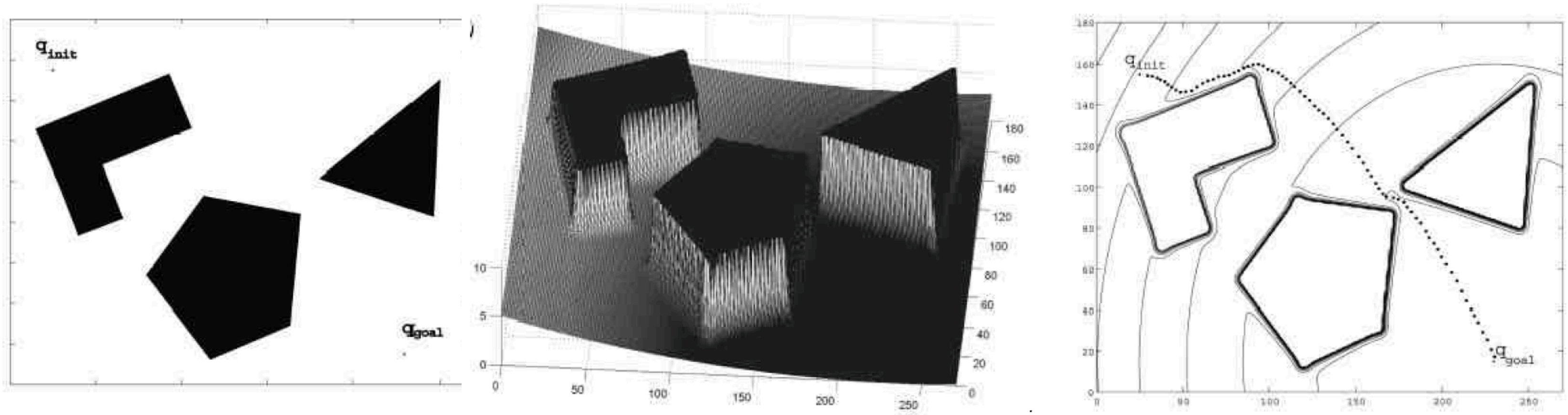
Pfadplanung: Potentialfeldmethoden

- Idee
- Abstossendes und anziehendes Potential
- Brushfire-Verfahren
- Gradienten-Planer

Idee

- Roboter wird als punktförmige Masse behandelt, die unter dem Einfluss eines Potentialfeldes (Skalarfeld) steht.
- Geplanter Roboterweg entspricht dem Weg einer ins Tal rollenden Kugel. Bewegungsrichtung des Roboters an einer Position x ergibt sich aus dem negativen Gradienten des Potentialfeldes an der Stelle x. (Gradientenabstieg)
- Hindernisse erzeugen ein abstossendes Potentialfeld.
- Das Ziel erzeugt ein anziehendes Potentialfeld.



Darstellung aus [Choset 2004]

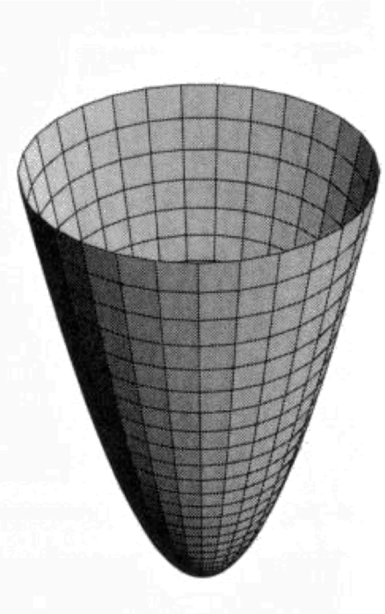
Anziehendes Potential-Feld

- $U_{att}(c)$ (attractive potential field) wächst quadratisch mit dem Abstand zum Ziel:

$$U_{att}(c) = \frac{1}{2} k_{att} d_{goal}^2(c)$$

wobei $d_{goal}(c)$ der Euklidische Abstand zu c ist :

$$d_{goal}(c) = \left\| c - c_{goal} \right\|$$



- Die anziehende Kraft konvergiert in Richtung Ziel linear gegen 0:

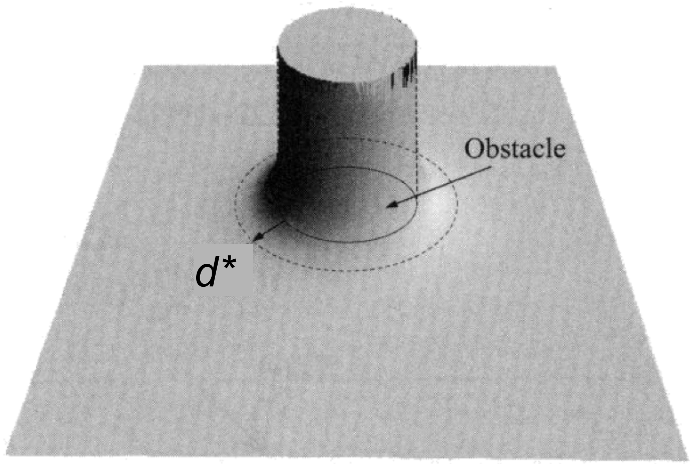
$$\begin{aligned} F_{att}(c) &= -\nabla U_{att}(c) \\ &= -k_{att}\left(c - c_{goal}\right) \end{aligned}$$

- Wird das Potential U_{att} ab einer bestimmten Schwellentfernung d* nur noch als linear wachsend definiert, dann wächst die anziehende Kraft F nicht endlos, sondern bleibt bei Entfernungen größer als d* konstant.

Abstossendes Potential-Feld

- $U_{rep\_i}(c)$ (repulsive potential field) ist groß in der Nähe des Hindernisses $\mathcal{CO}_i$ und ist 0 in einer Entfernung größer als d*:

$$U_{rep_i}(c) = \begin{cases} \frac{1}{2} k_{rep} \left(\frac{1}{d_i(c)} - \frac{1}{d^*} \right)^2, & d_i(c) \le d^* \\ 0, & d_i(c) > d^* \end{cases}$$



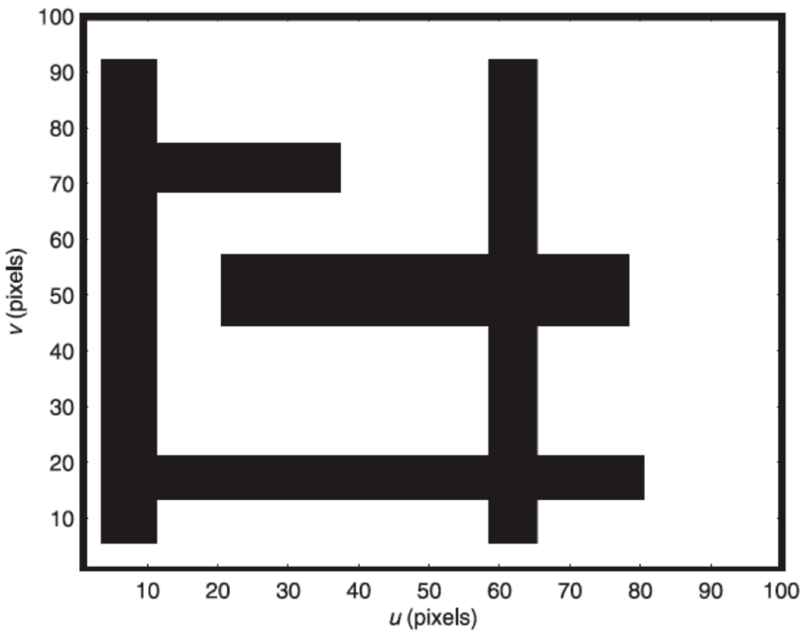
- dabei ist $d_i(c)$ der minimale Abstand von c zum Hindernis $\mathcal{CO}_i$.

- Die abstossende Kraft wird in der Nähe von Hindernissen unendlich groß:

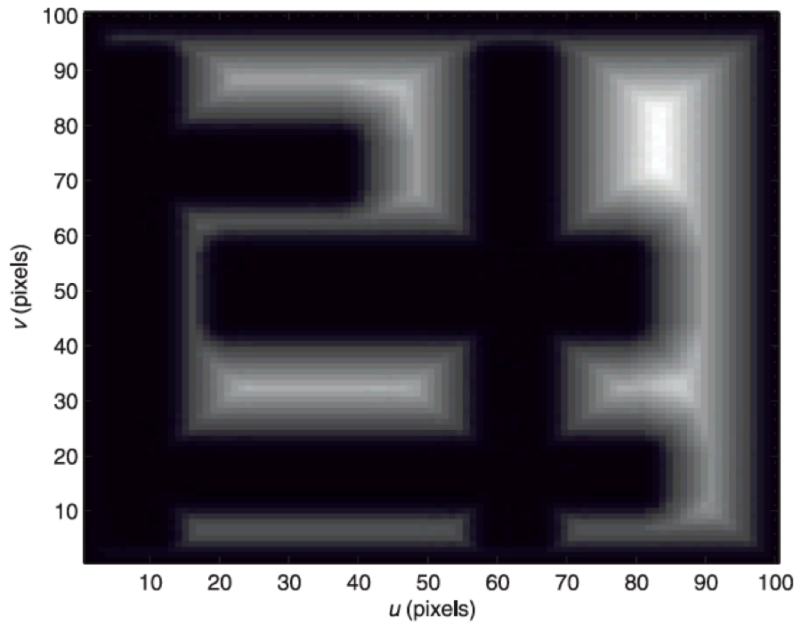
$$F_{rep_i}(c) = -\nabla U_{rep_i} = \begin{cases} k_{rep} \left(\frac{1}{d_i(c)} - \frac{1}{d^*} \right) \frac{1}{d_i^2(c)} \frac{c - c_i}{d_i(c)}, & d_i(c) \le d^* \\ 0, & d_i(c) > d^* \end{cases}$$

Brushfire-Verfahren (1)

- Erstelle zur Umgebung ein Belegtheitsgitter.
- Belegtheitsgitter wird als Graph aufgefasst (4er- oder 8er-Nachbarschaft).
- Ermittle alle Randzellen. Randzellen sind Zellen, die ein freies Nachbarfeld haben.
- Starte das Dijkstra-Verfahren, wobei Open List mit allen Randzellen initialisiert wird. Der d-Wert (Abstandswert) der Randzellen wird auf 0 gesetzt.



Belegtheitsgitter
[Corke 2011]



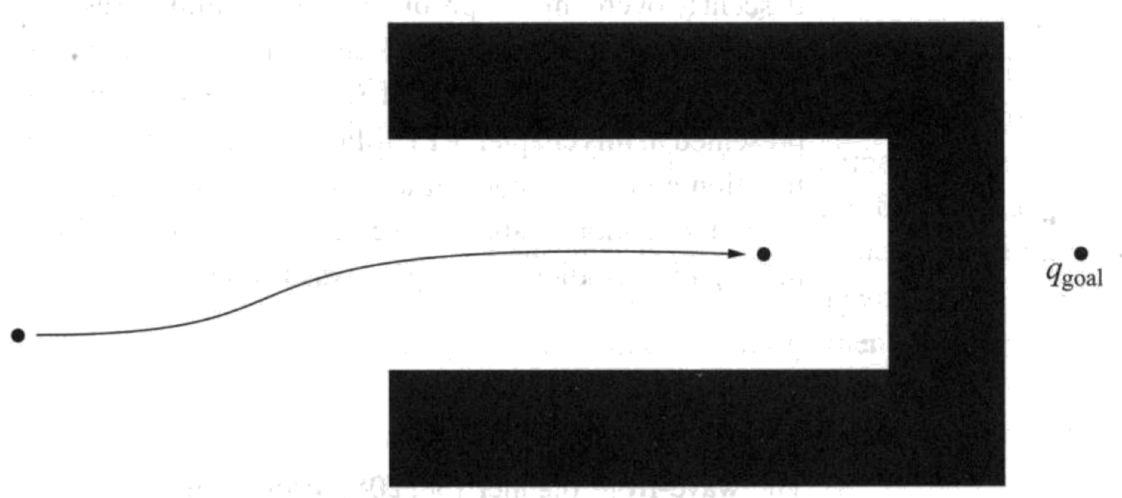
Gitter mit Entfernungswerten zu den nächstgelegenen Hindernissen
[Corke 2011]

Brushfire-Verfahren (2)

- Das Verfahren entspricht anschaulich einem Buschfeuer, das nach und nach alle freien Felder erreicht, bis sich die Feuerfronten treffen (Brushfire)
- Das Verfahren berechnet für alle Zellen den Abstand zu den nächstgelegenen Hindernissen.
- Aus dem Belegtheitsgitter mit den berechneten Abstandswerten wird das abstossende Potentialfeld ermittelt.
- Um das Gesamt-Potentialfeld zu erhalten, lässt sich einfach an jedem Gitterfeld noch das anziehende Potential des Zielpunkts dazuaddieren.
- Der Gradient (Bewegungsrichtung des Roboters) kann einfach dadurch bestimmt werden, dass unter allen Nachbarfeldern dasjenige mit dem kleinsten Potentialwert bestimmt wird.

Problem der lokalen Minima

- Wie bei jedem Gradientenverfahren kann der Gradientenabstieg in ein lokales Minimum enden.
- Zufallsbewegungen können eventuell aus dem Minimum herausführen.



Gradientenplaner (1)

- Fasse Belegtheitsgitter als Graph auf und berechene mit dem Dijkstra-Verfahren <u>alle kürzesten Wege vom Ziel nach allen anderen Knoten</u> und trage die berechneten kürzesten Weglängen d in die entsprechnden Gitterzellen ein.
- Gesuchter Weg ergibt sich dann, indem bei einem beliebigen Startknoten S begonnen wird und immer zu derjenigen Nachbarzellen mit geringstem d-Wert gegangen wird (Gradientenabstieg).

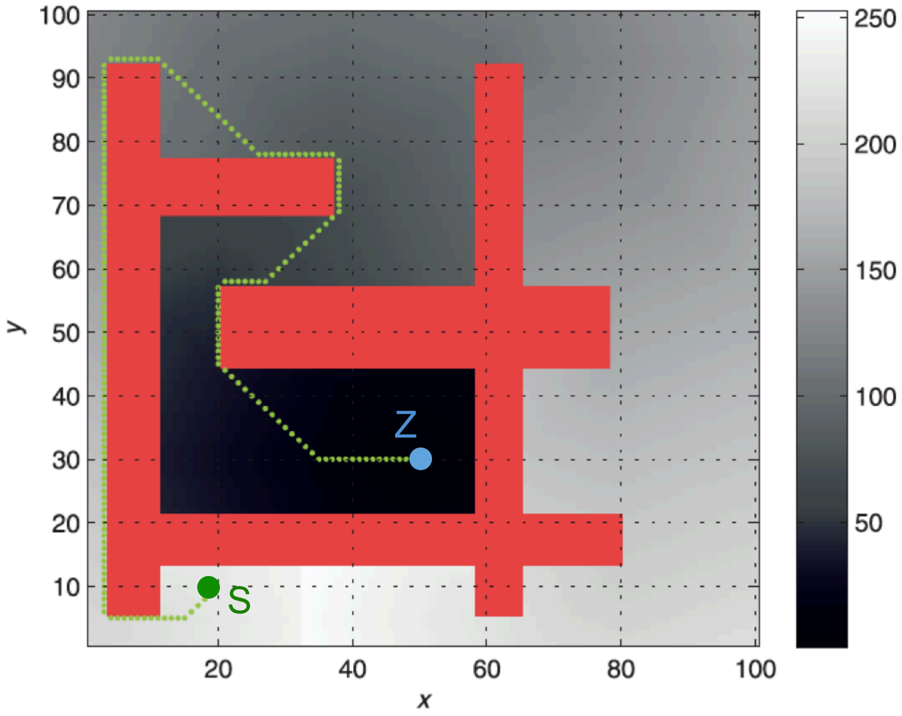


Abb. aus [Corke 2011]

- Belegtheitsgitter mit 8-Nachbarschaft.
- Grauwert stellt die berechnete kürzeste Weglänge dar.

Gradientenplaner (2)

- Sobald die kürzesten Wege berechnet wurden, ist für jeden Startknoten (!) der kürzeste Weg unmittelbar durch Gradientabstieg gegeben.
- Vorteil: bei einer Abweichung vom geplanten Weg steht eine Neuplanung des Wegs sofort zur Verfügung. Das Ziel darf sich dabei jedoch nicht ändern.

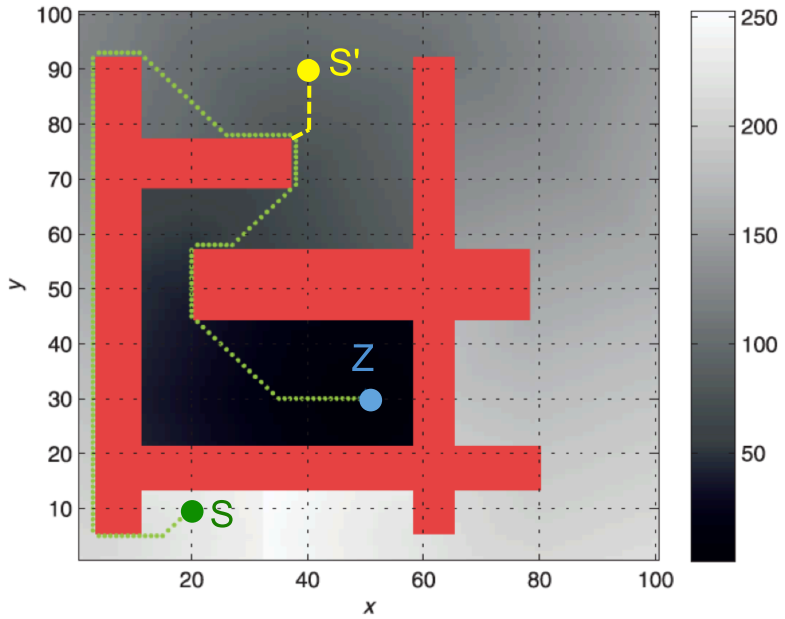


Abb. aus [Corke 2011]

- Zusätzlich können Zellen noch mit Kosten versehen werden, die vom Abstand zum nächsten Hindernis abhängen. Damit werden bei der Pfadplanung zwei Ziele verfolgt: Sicherheit der Wege (d.h. größere Abstände von Hindernissen) und ihre Länge.