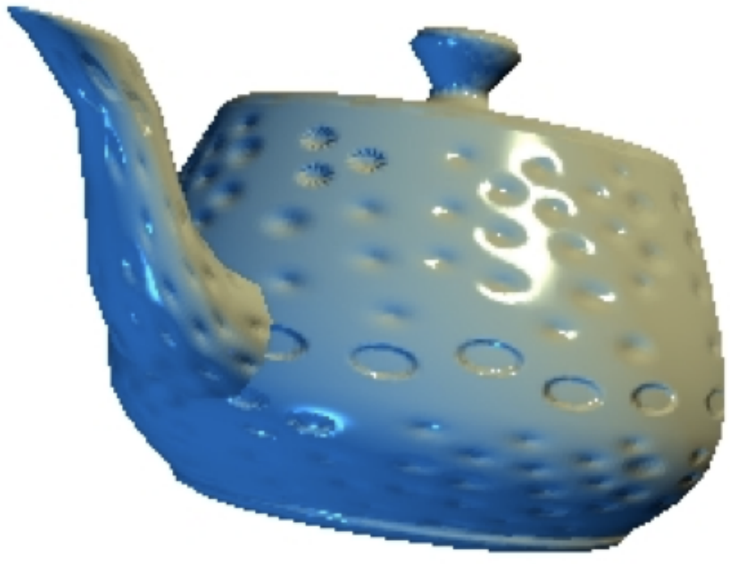
Bump mapping

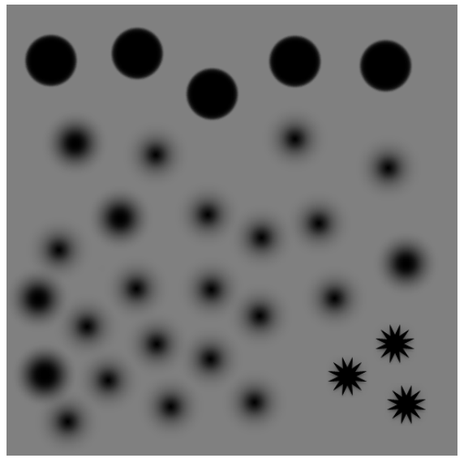
Principerna ingick i grundkursen.

- Mer detalj, implementation
- Koordinatsystem
- Normal mapping
- Utvidgning till mer avancerade metoder

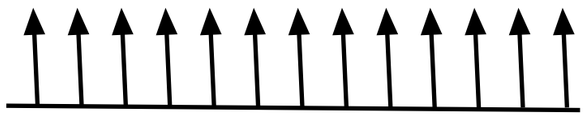
Bump mapping

Simulates surface structure by manipulating the normal vector



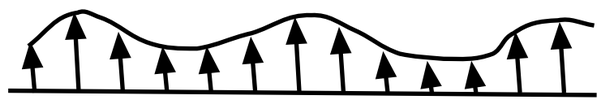


Bump mapping - model

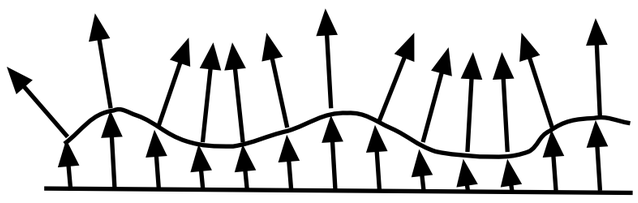


Surface with normal vectors

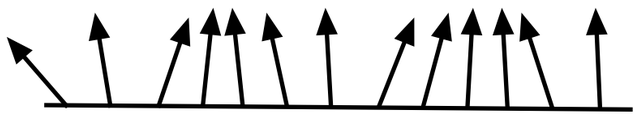
Bump map: scalar function of the texture coordinates



Modulate the surface by the bump function, along normal



Calculate new normals



Resulting normal vectors

Bump mapping - practice

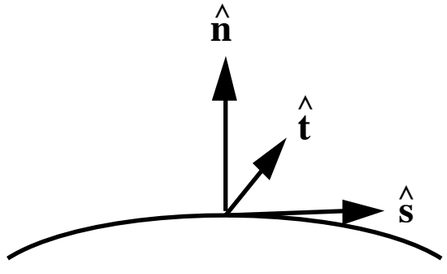
Input:
A point **p**, normal vector $\hat{\mathbf{n}}$
Texture coordinates s(**p**), t(**p**)
Directions of texture coordinates $\hat{\mathbf{s}}$, $\hat{\mathbf{t}}$
The bump function b(s,t)

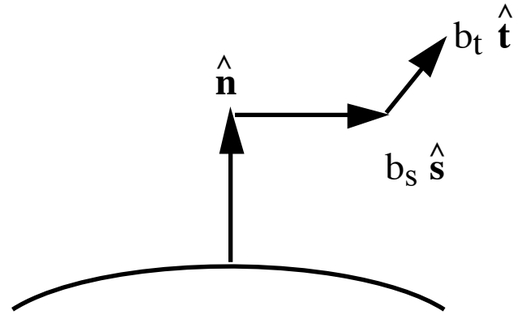
Calculate the partial derivative of the bump function, b_s and b_t

$$\hat{\mathbf{n}}' = \hat{\mathbf{n}} + b_t * (\hat{\mathbf{s}} \times \hat{\mathbf{n}}) + b_s * (\hat{\mathbf{t}} \times \hat{\mathbf{n}})$$

or, if $\hat{\mathbf{s}}$, $\hat{\mathbf{t}}$, $\hat{\mathbf{n}}$ are orthogonal

$$\hat{\mathbf{n}}' = \hat{\mathbf{n}} + b_t * \hat{\mathbf{t}} + b_s * \hat{\mathbf{s}}$$





Mer praktik

Var får vi ŝ och t̂ från? Vi har texturkoordinater men inget koordinatsystem!

Kryssa fram från normalvektorn? Men mot vad?

Beräkna från ds/dx och dt/dy i bilden? Då saknas z-variation!

Fuskmetod

Kryssa fram från normalvektorn mot vad tusan som helst!

$$\hat{s} = \hat{x} \times \hat{n} / |\hat{x} \times \hat{n}|$$
$$\hat{t} = \hat{n} \times \hat{s}$$

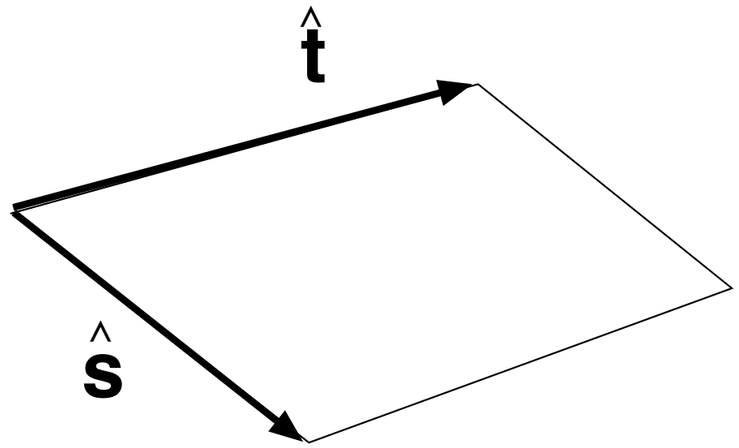
Funkar för vissa fall. (Brus i synnerhet.)

Bättre kan vi!

Enkel geometri

Men om vi nu vill ha mer korrekta $\hat{s}$ och $\hat{t}$, vad gör vi då?

Enkelt för rektangel - bekvämt labbfall.



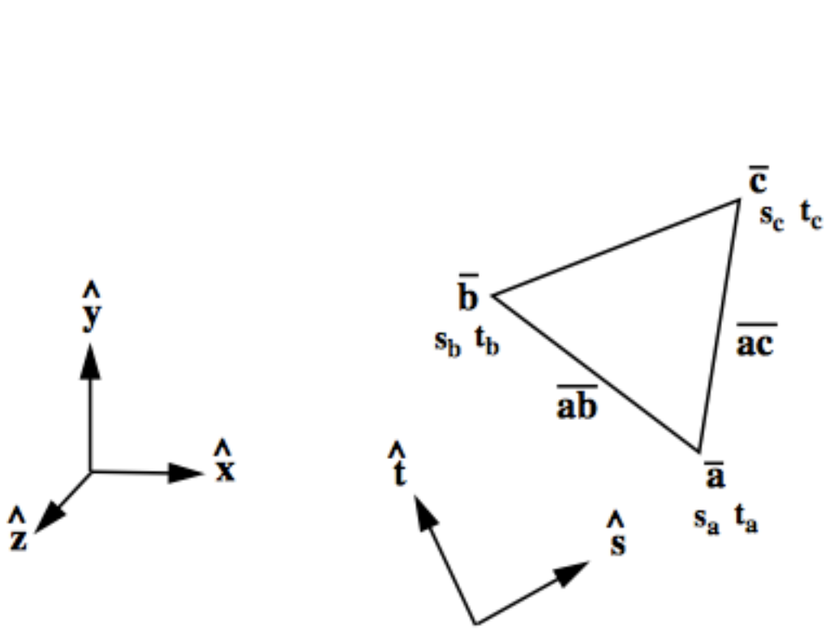
Lengyel's metod

Härled genom steg längs $\hat{s}$ och $\hat{t}$ i xyz-rymden (modellkoordinater).

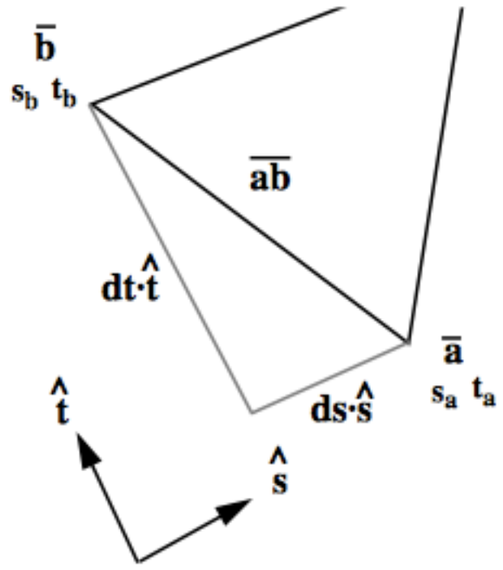
Rak och snygg metod genom matrisalgebra.

Uttryck två sträckor som funktion av $\hat{s}$ och $\hat{t}$, finn inversen!

Lengyel's metod



Givet en triangel med texturkoordinater, finn basvektorer för texturkoordinater



Tag sidan ab, dela upp i komponenter längs s och t. Uttryck som matris, finn s och t med invers!

Lengyel's metod

i programkod - ganska enkelt!

```
float ds1 = sb - sa; float ds2 = sc - sa;
float dt1 = tb - ta; float dt2 = tc - ta;
vec3 s, t;
float r = 1/(ds1 * dt2 - dt1 * ds2);
s = (ab * dt2 - ac * dt1) * r;
t = (ac * ds1 - ab * ds2) * r;
```

OBS! Vektoroperationer!

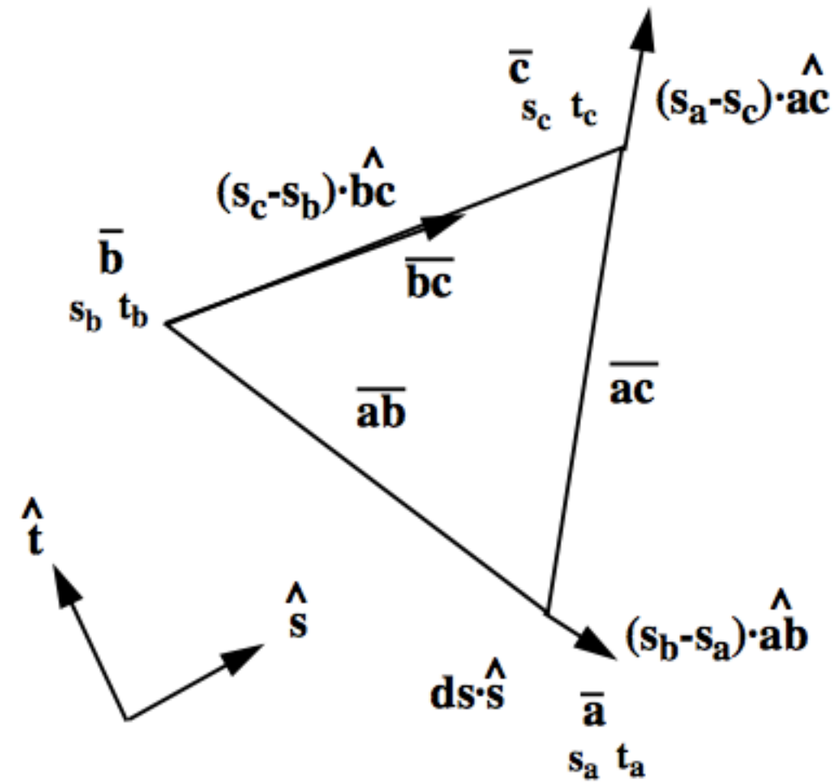
Approximativ metod

Låt varje sida av polygoner bidra till s och t beroende på deras s- och t-variation!

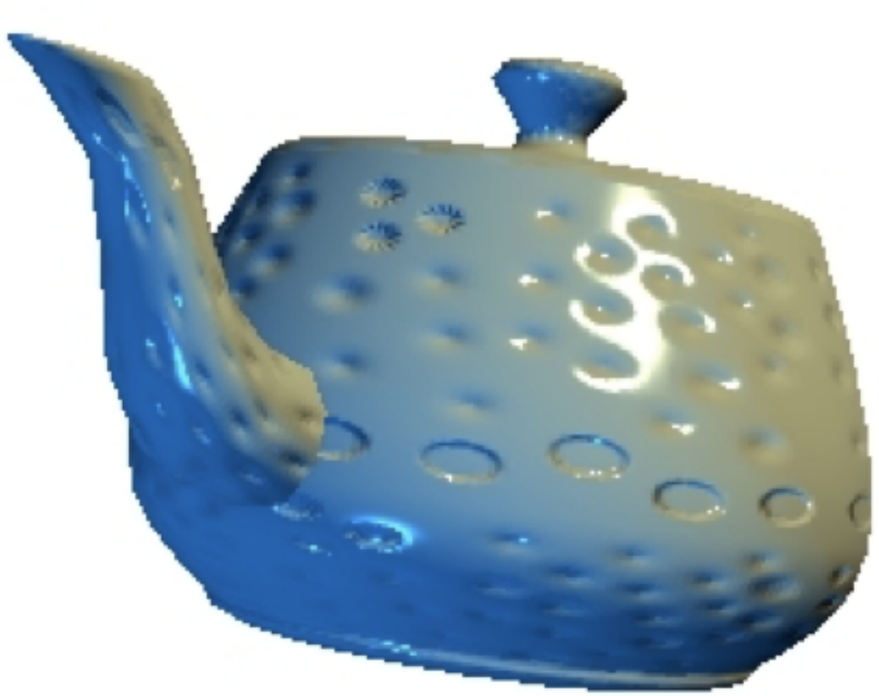
Varje sidas bidrag till s = sidans riktning (normerad gånger variationen i s. Summera!

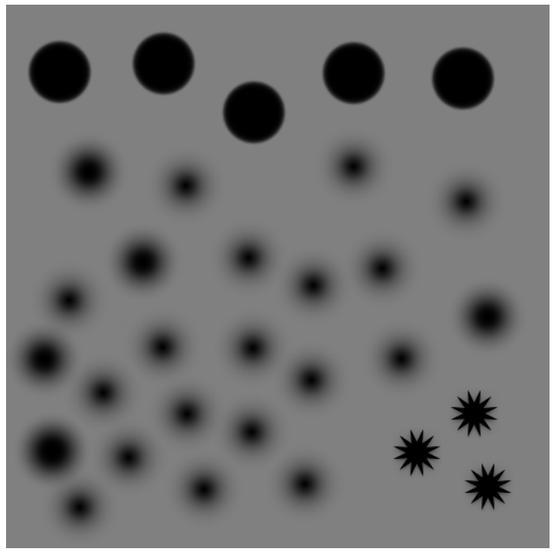
Approximativ metod

$$s_{ab} = \frac{ab}{|ab|}(s_b - s_a)$$



Båda metoderna ger bra resultat för komplicerade modeller!





Koordinatsystem

- **Vy- och världskoordinater**
- **Texturkoordinater**
- **Tangentkoordinater**

Ljuskälla fås ofta i vykoordinater
Bumpmappen ges i texturkoordinater
Normalvektor i modellkoordinater eller vykoordinater

Vi måste kunna konvertera mellan koordinatsystemen!
Ljussättning skall göras med vektorer i samma koordinatsystem.

Koordinatsystem

Modell till vy: normalmatrisen

$$\mathbf{p_s} = \text{normalMatrix} * \mathbf{s}$$
$$\mathbf{p_t} = \text{normalMatrix} * \mathbf{t}$$
$$\mathbf{n_v} = \text{normalMatrix} * \mathbf{n}$$

Vy till textur:

$$M_{vt} = \begin{bmatrix} \mathbf{p_s} \\ \mathbf{p_t} \\ \mathbf{n_v} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p_{sx} & p_{sy} & p_{sz} \\ p_{tx} & p_{ty} & p_{tz} \\ n_{vx} & n_{vy} & n_{vz} \end{bmatrix}$$

Koordinatsystem

p_s är *tangentvektorn* (kallas ofta t i andra texter)
p_t *bitangent (inte binormal)*

Texturrymd = bas med vektorer längs texturvariationer

Tangentrymd = ortonormal bas i texturrymd

Tangentrymd ofta bra approximation till texturrymd

Lite mer definitioner

bumpmap = bild med höjdvärden

normal map = bild med förberäknade normalvektorer

(Förvirring mellan dessa två förekommer)

Beräkning av modifierad normalvektor (vykoordinater)

$b_s = db/ds$
$b_t = db/dt$

$n' = n + b_s \cdot P_s + b_t \cdot P_t$ (”in”)

eller

$n' = n - b_s \cdot P_s - b_t \cdot P_t$ (”ut”)

Förutsätter tangentrymd. Texturrymd blir:

$n' = n + b_s \cdot P_t \times n + b_t \cdot P_s \times n$ (”in”)

Beräkning av modifierad normalvektor (texturkoordinater)

$$b_s = db/ds$$

$$b_t = db/dt$$

$$\mathbf{n'} = \begin{bmatrix} b_s \\ b_t \\ 1 \end{bmatrix} \mathbf{+ normering}$$

Jättelätt! MEN, ljus och vyriktning måste då transformeras till texturkoordinater!

$$\mathbf{l_t} = M_{vt} * \mathbf{l}$$

Normalmappning

Förberäkna b_s och b_t, spara i bild!

$$-b_s = b[s, t] - b[s+1, t]$$
$$-b_t = b[s, t] - b[s, t+1]$$
$$1$$

Normera!

Alternativt

$$-b_s = b[s-1, t] - b[s+1, t]$$
$$-b_t = b[s, t-1] - b[s, t+1]$$
$$1$$

Lagring i textur

"Scale and bias" här också:

$$R = (b_s + 1)/2$$
$$G = (b_t + 1)/2$$

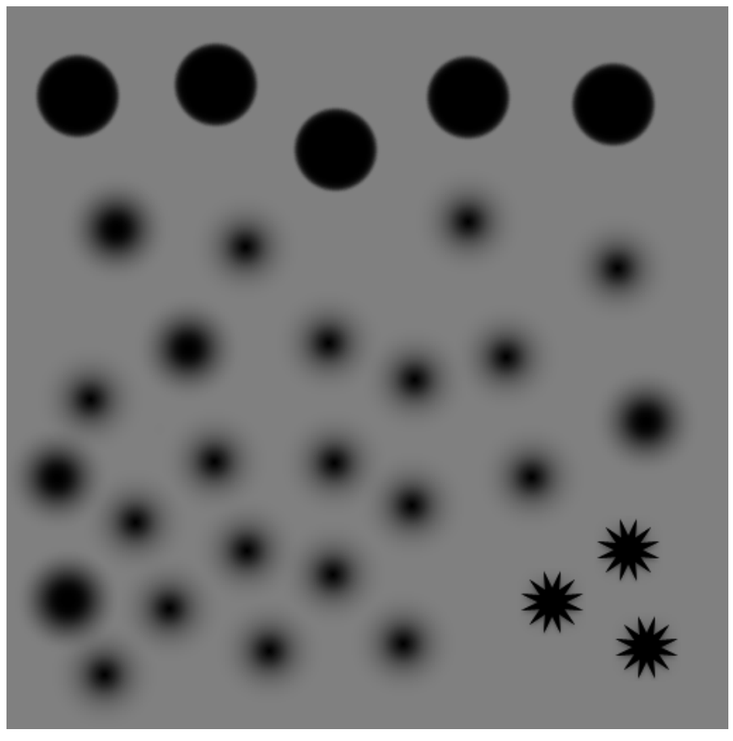
(Varför?)

"Hämtning ur textur:

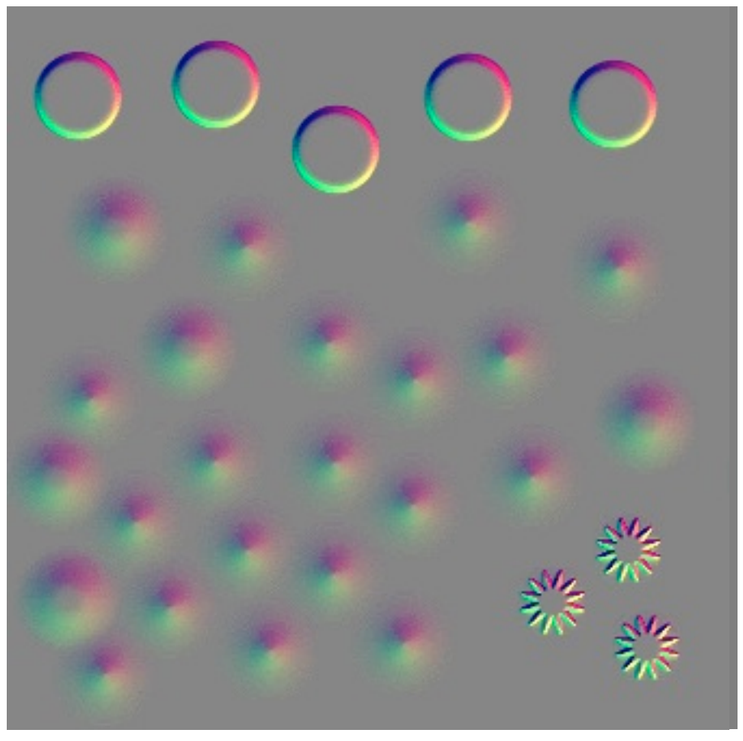
$$b_s = 2R - 1$$
$$b_t = 2G - 1$$

Exempel på normal map (”normalkarta”?)

Bump map som användes i exemplet



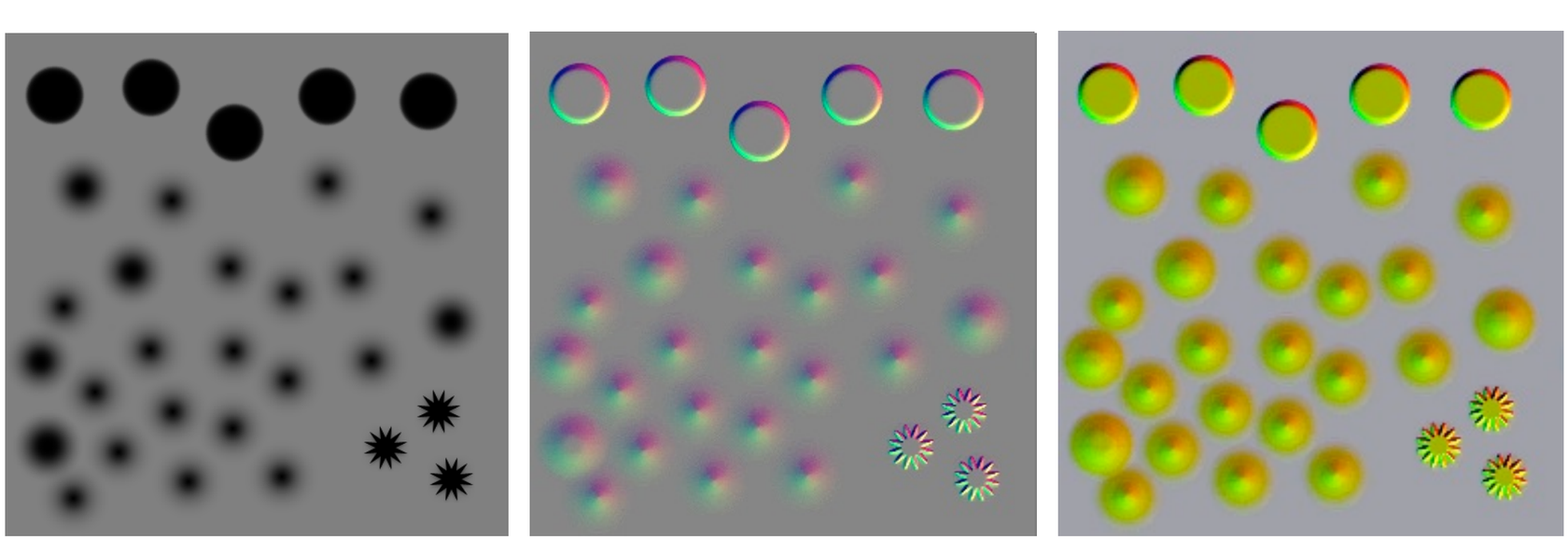
Bump map



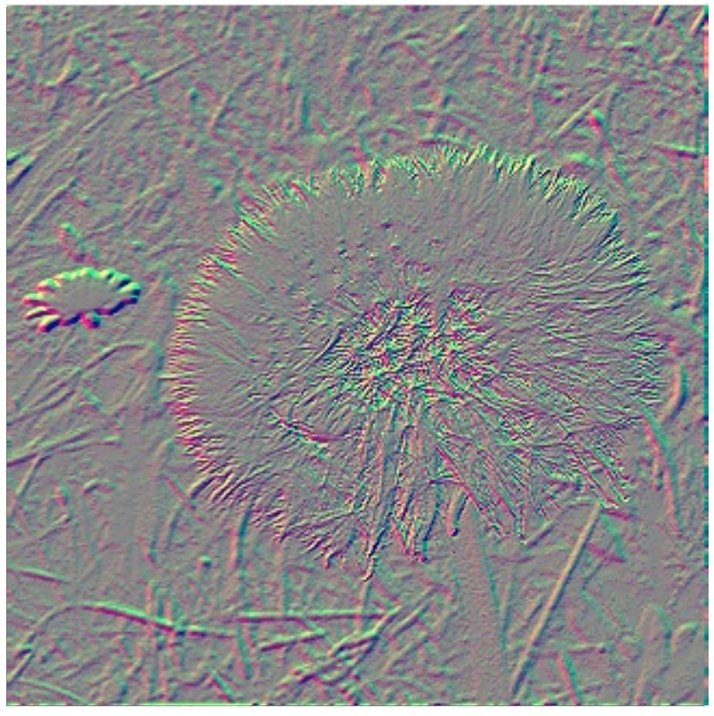
Normal map

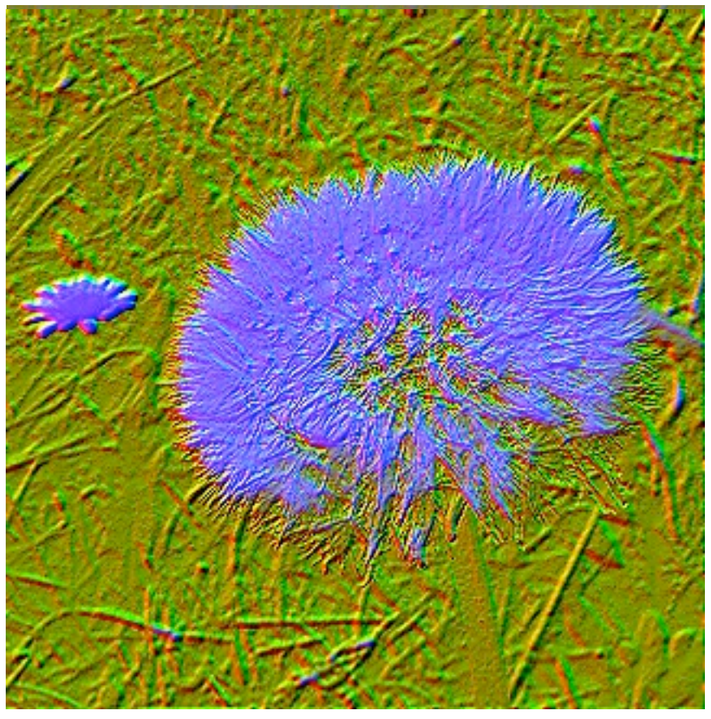
Bumpmappen kan läggas i blå- eller alpha-komponenten!

⇨ Hybrid bump/normal-map



Bump map **Normal map** **Hybrid**





Exempel från boken

Jonas Lindmarks projekt

Bättre än bump mapping

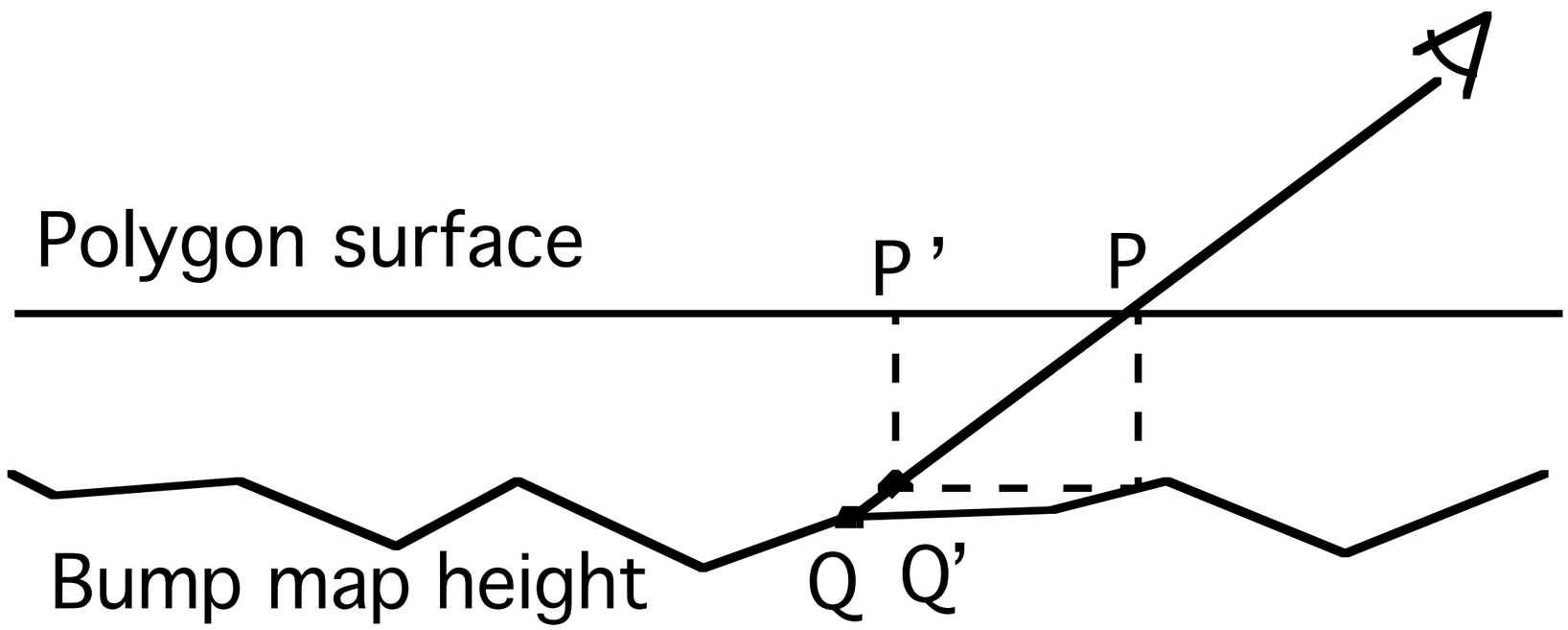
Bump mapping är “platt”, ser fel ut när man betraktar i lite vinkel.

Bättre metoder:

- Parallax Mapping
- Relief Mapping/Parallax Occlusion Mapping
- Per-pixel displacement mapping

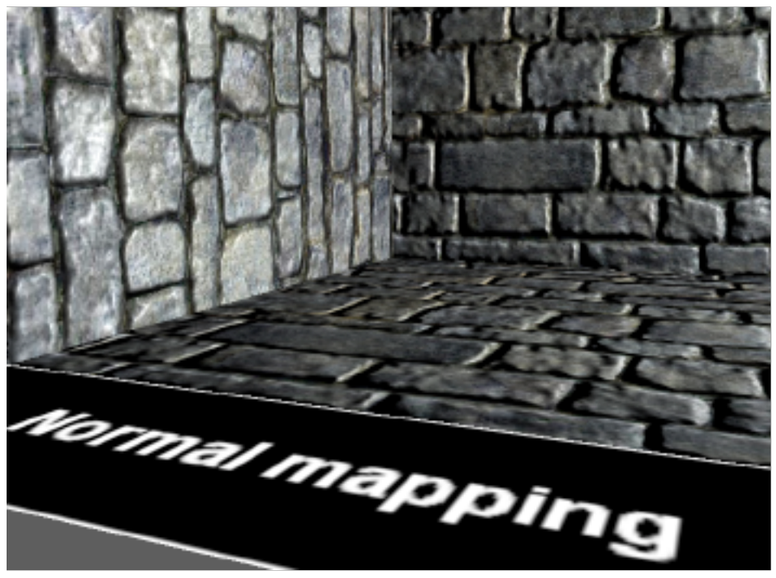
Parallax Mapping

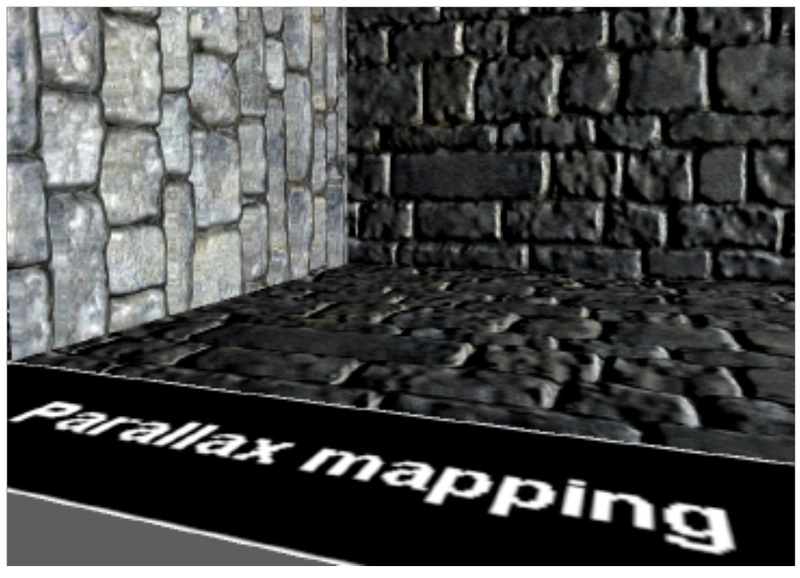
Enklaste metoden, gör ett grovt “språng” i texturrymden.



Parallax Mapping

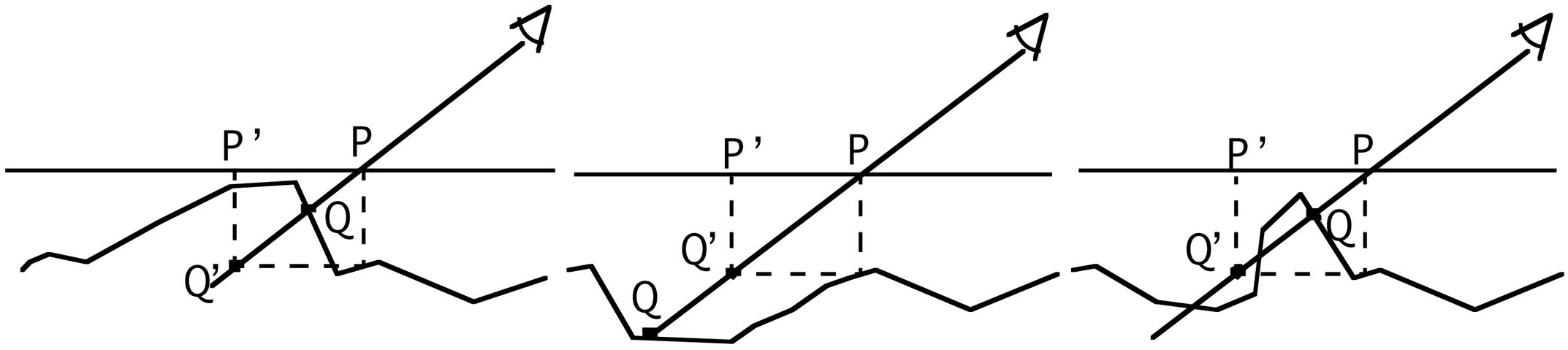
I många fall en god förbättring.





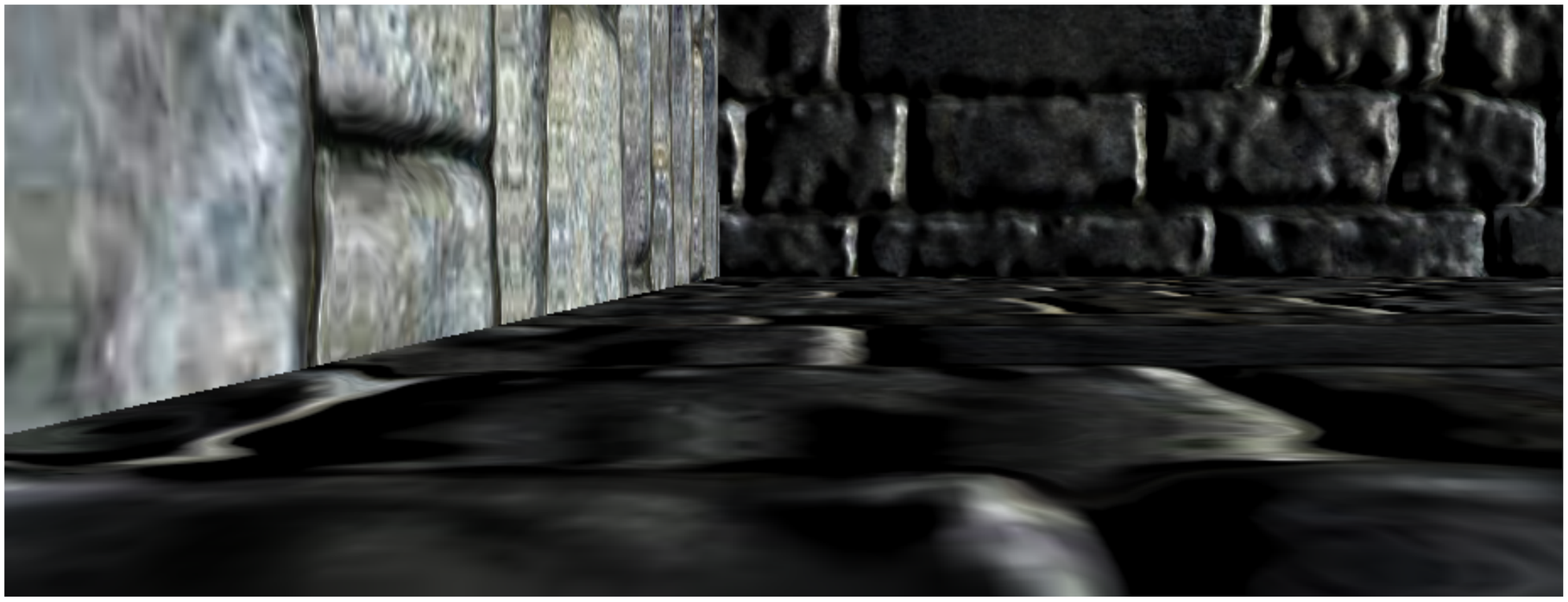
Parallax Mapping

Antar långsam variation i bump mappen.



Parallax Mapping

Konstiga resultat i branta vinklar eller högfrekvent bump map.



Parallax Mapping

$$T_n = T_0 \pm b(s, t) \cdot V_{xy}/V_z$$

Felet växer vid små Vz!

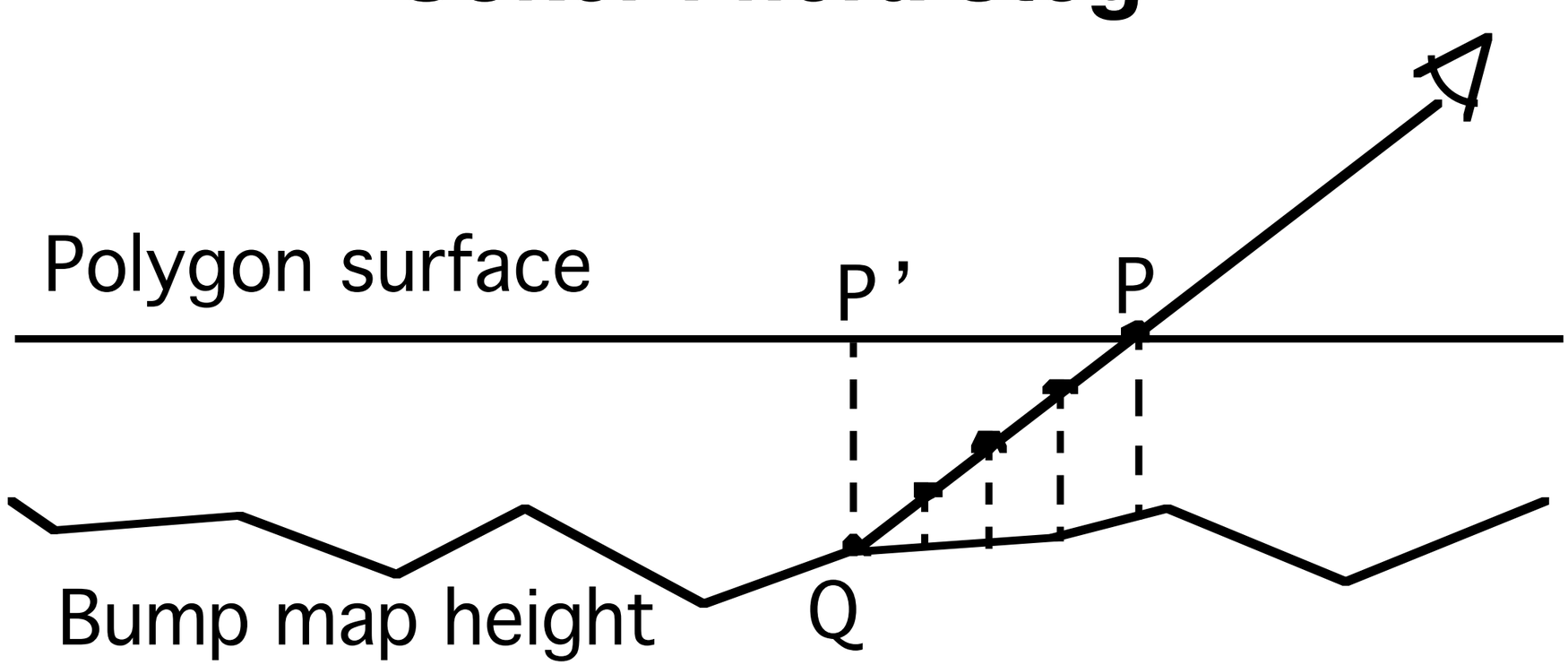
Variant: Offset limiting:

$$T_n = T_0 \pm b(s, t) \cdot V_{xy}$$

Tar helt enkelt bort V_z!

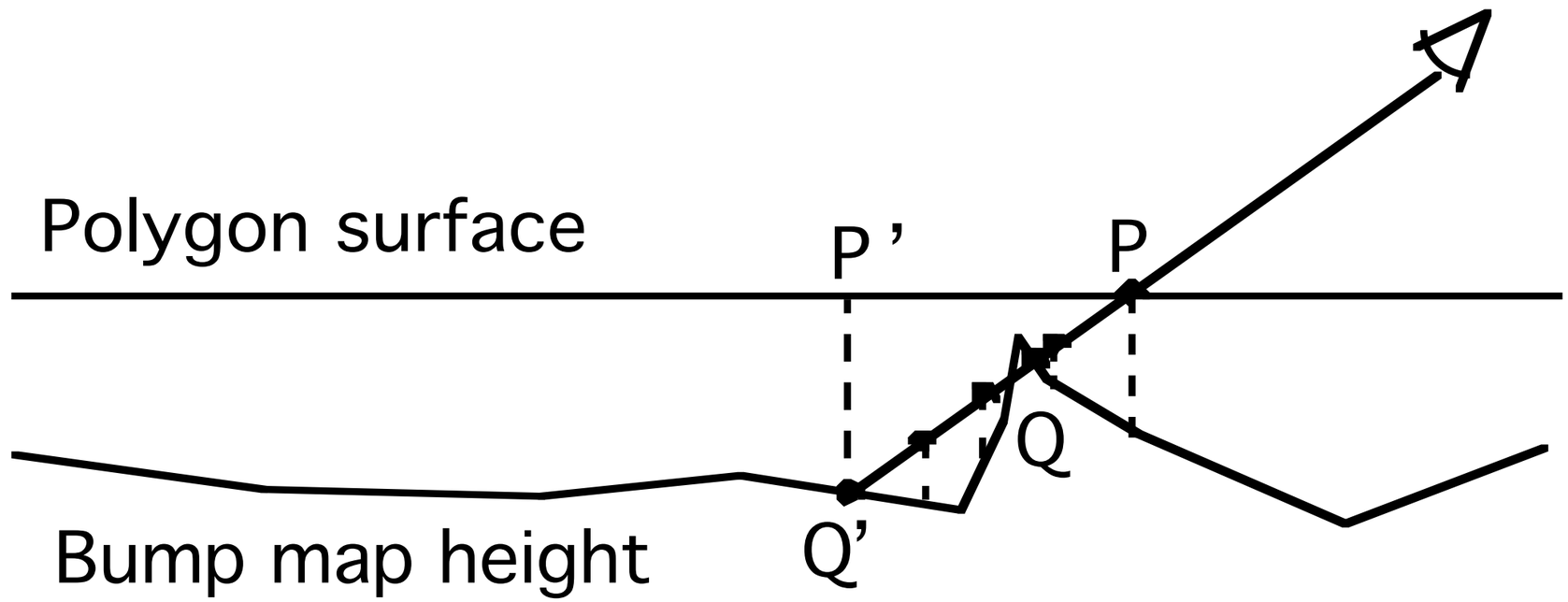
Relief Mapping

Söker i flera steg



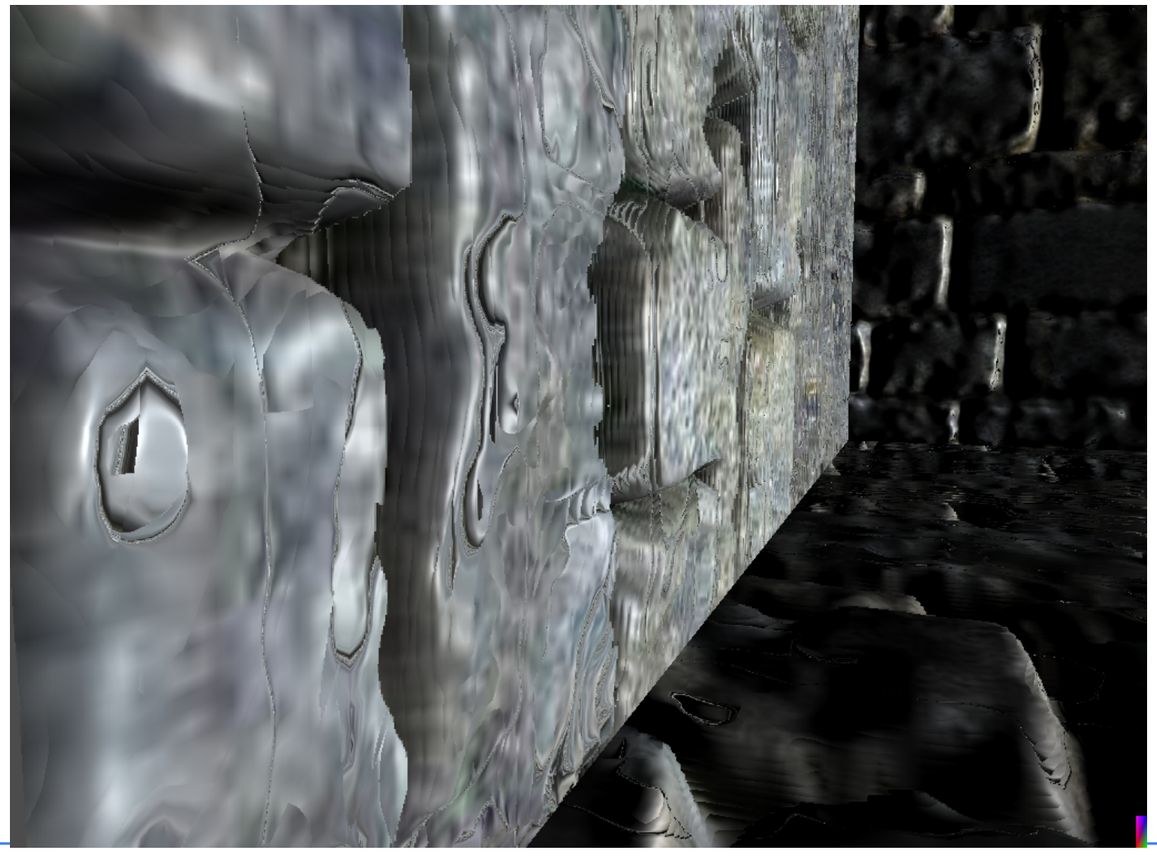
Relief Mapping

Missar ibland om stegen är för stora



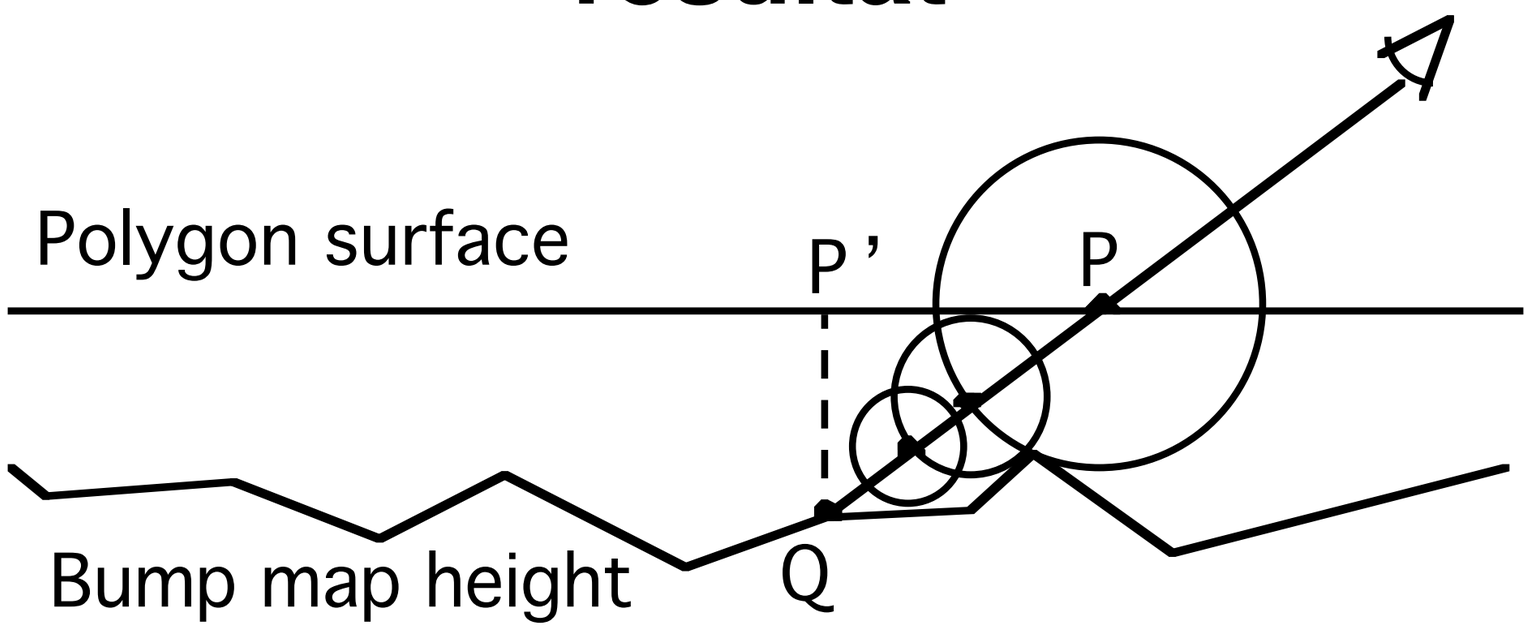
Variant: Parallax Occlusion Mapping

Liknande algoritm, uppvisar enligt Lindmark betydande fel.



Per-pixel Displacement Mapping

Mycket exakt metod som ger fina resultat



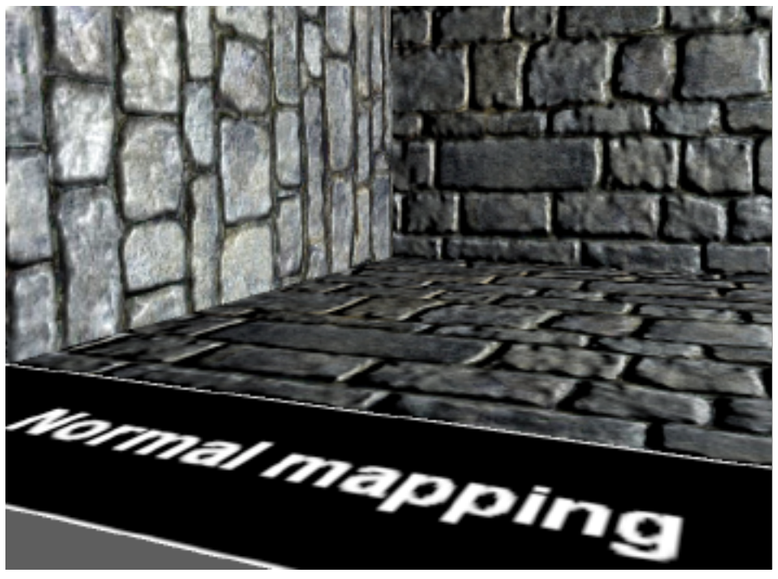
Per-pixel Displacement Mapping

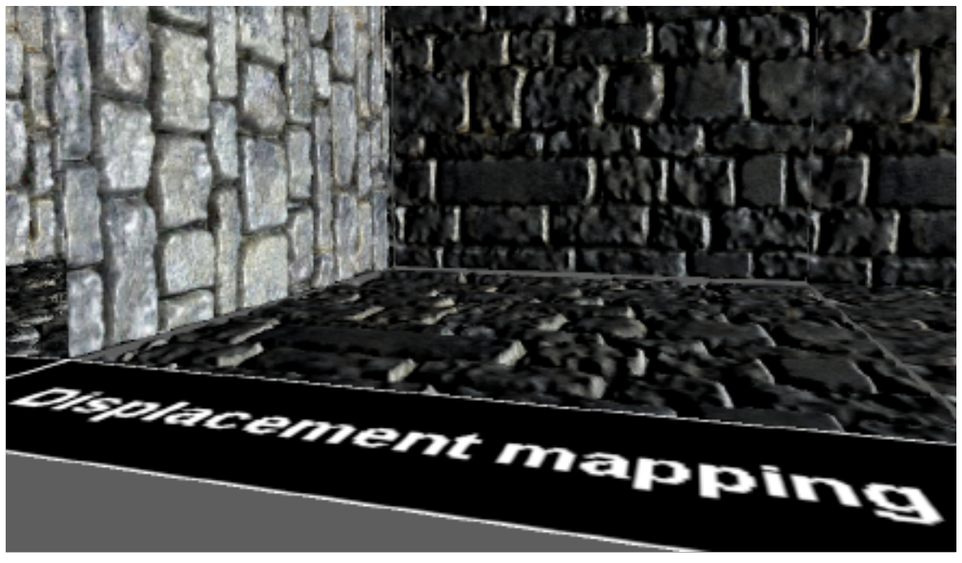
Använder Euklidisk avståndstransform

Algoritm för att effektivt beräkna avståndsvärden i samplad rymd

Uppfanns av PE Danielsson 1980

Per-pixel Displacement Mapping

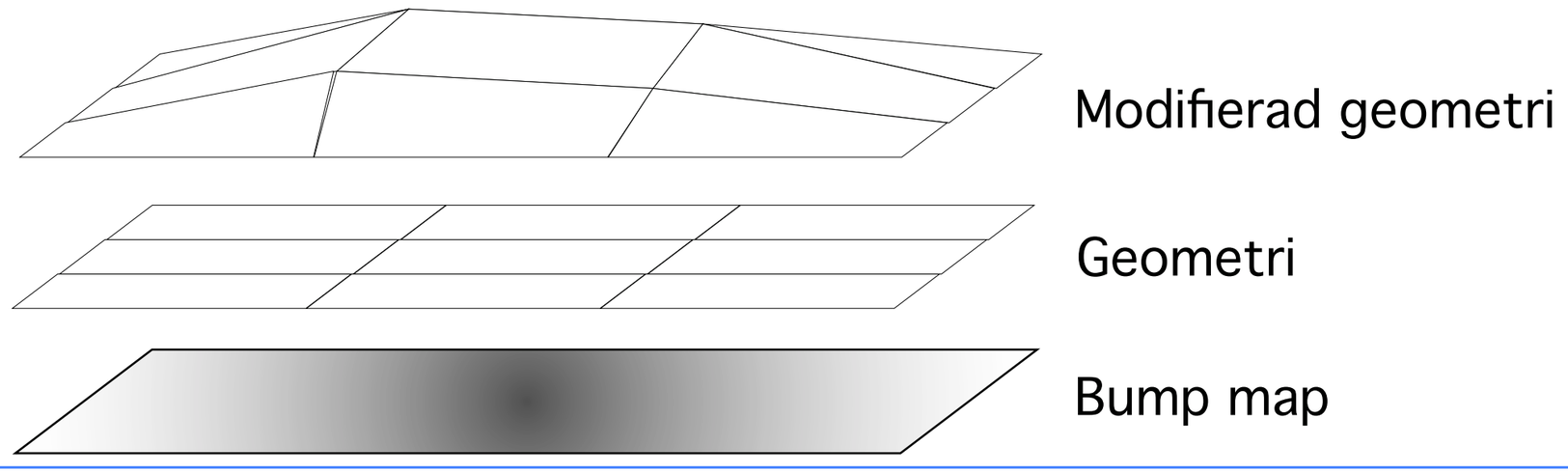




OBS! Förväxla inte per-pixel displacement mapping med per-vertex displacement mapping (ofta kombinerad med tesselering)

Per-vertex displacement mapping ändrar geometrin, inte bara shading och textur!

Intressant när vi använder tesselation shaders (kommer senare)



Vad behöver ett spel då?

- **Platt texturmappning: Räcker inte alls.**
- **Bump mapping: Räcker långt!**
- **Parallax mapping: Kostar inte mycket när man har bump mapping**
- **Per-pixel displacement mapping: Visst blir det fint, men *behövs* det verkligen?**

Får jag en snabb och stabil PPDM gratis tar jag det nog, men annars är bump mapping och parallax mapping frestande, kostnadseffektiva.

Sammanfattning bumpmappning

- Generera texturkoordinatsystem från texturkoordinater
- Beräkna bump mapping i vy- eller texturkoordinater
- Normalmappning: förberäknad bumpmappning
- Utvidgningar och förbättringar av bumpmappning