Offline Bewegungsplanung: Zellenberechnungen

Elmar Langetepe
University of Bonn

Zellenberechnung: Th. 2.23

Zellenberechnung: Th. 2.23

n X-monotone Kurvenstücke von denen sich zwei nur s mal schneiden, x gegeben. Die Zelle Z_x kann in Zeit $O(\lambda_{s+2}(n)) \log^2 n)$ berechnet werden.

Anwendungen: Kap. 2.2.3

Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen

Anwendungen: Kap. 2.2.3

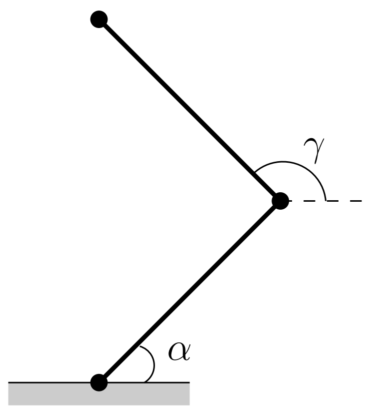
- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum

Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest,

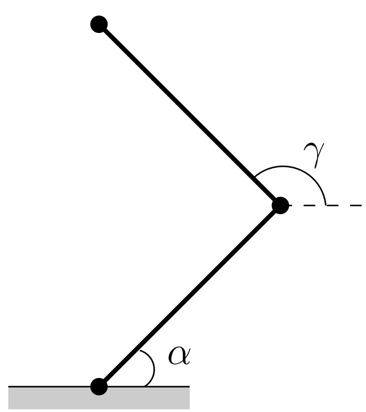
Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken



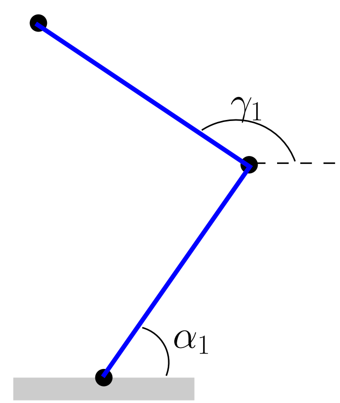
Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken
- Zwei Freiheitsgerad: Tupel des Konfigurationsraumes!!



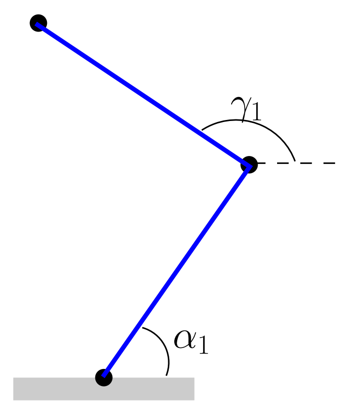
Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken
- Zwei Freiheitsgerad: Tupel des Konfigurationsraumes!!
- Hindernisse,



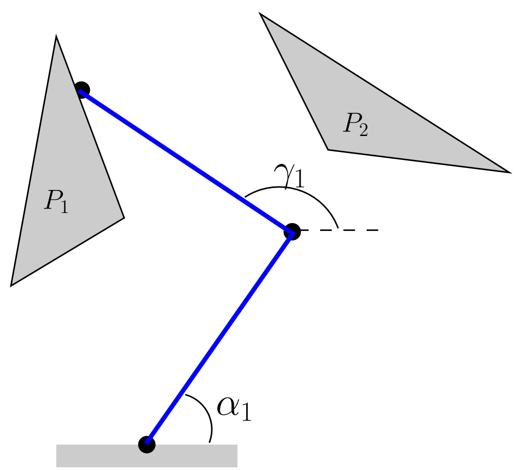
Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken
- Zwei Freiheitsgerad: Tupel des Konfigurationsraumes!!
- Hindernisse, normierte Armlänge



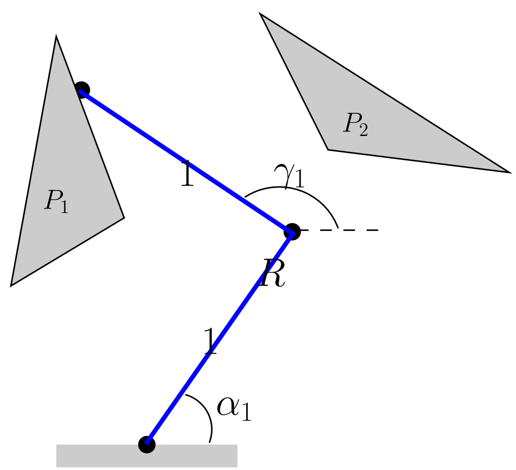
Anwendungen: Kap. 2.2.3

- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken
- Zwei Freiheitsgerad: Tupel des Konfigurationsraumes!!
- Hindernisse, normierte Armlänge



Anwendungen: Kap. 2.2.3

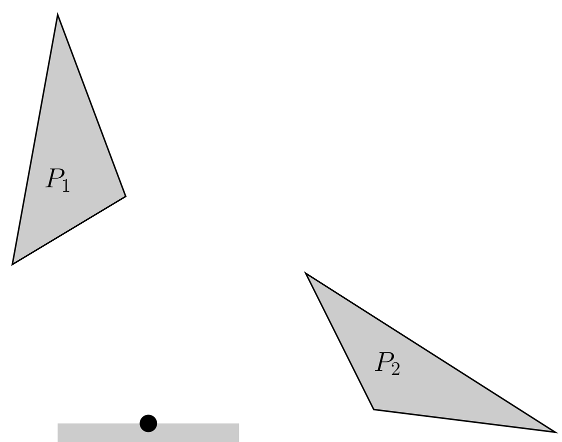
- Allgemeinheit der Konstruktion ausnutzen
- n Bögen begrenzen Konfigurationsraum
- Beispiel: Podest, Roboterarm mit zwei Gelenken
- Zwei Freiheitsgerad: Tupel des Konfigurationsraumes!!
- Hindernisse, normierte Armlänge



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 1.

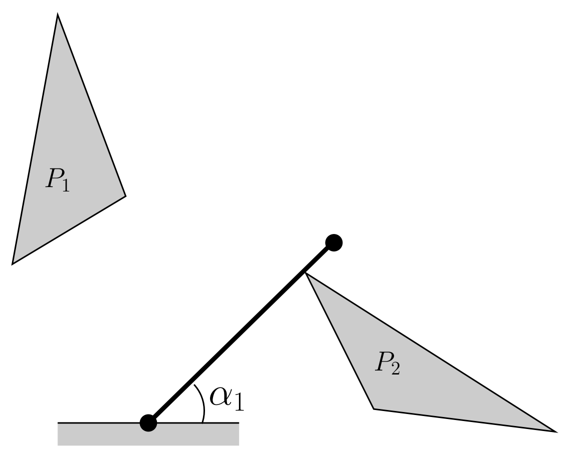
Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 1.

Einschränkung unterer Bogen:



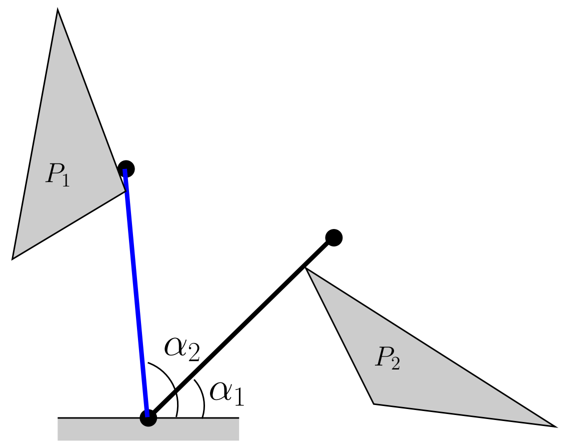
Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 1.

Einschränkung unterer Bogen: α_1,



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 1.

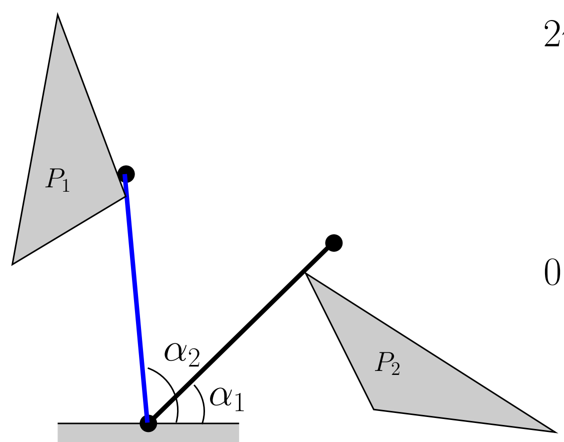
Einschränkung unterer Bogen: α_1, α_2

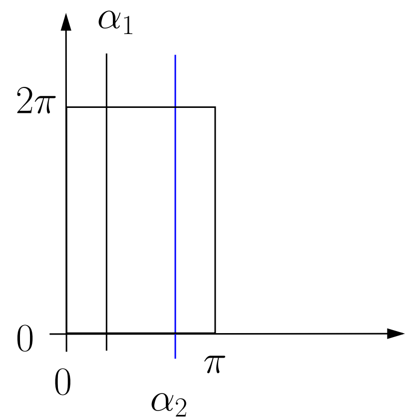


Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 1.

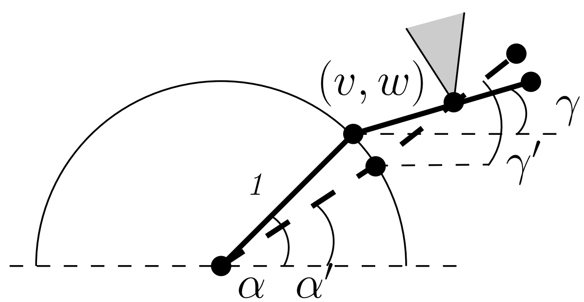
Einschränkung unterer Bogen: α_1, α_2

Zwei Kanten im Konfigurationsraum!!



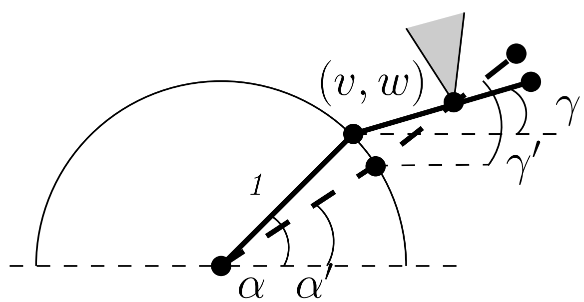


Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 2.



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 2.

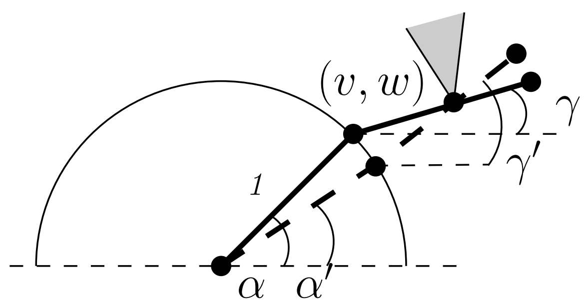
Kontakt: Hindernisecke mit oberem Arm! Entlangschieben!



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 2.

Kontakt: Hindernisecke mit oberem Arm! Entlangschieben!

Kurve im Konfigurationsraum!!

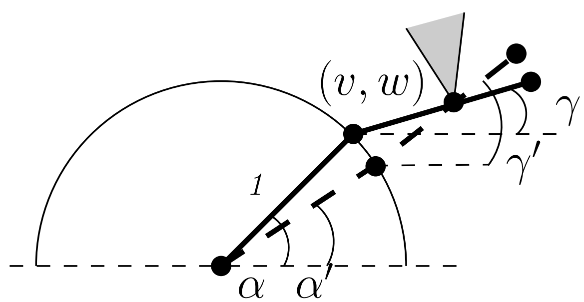


Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 2.

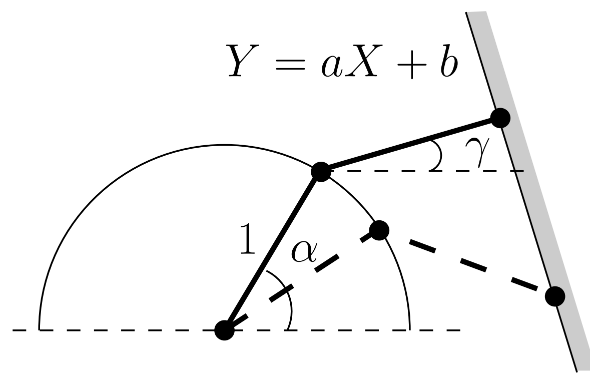
Kontakt: Hindernisecke mit oberem Arm! Entlangschieben!

Kurve im Konfigurationsraum!!

Geschickte Parametrisierung wählen! (Tafel)

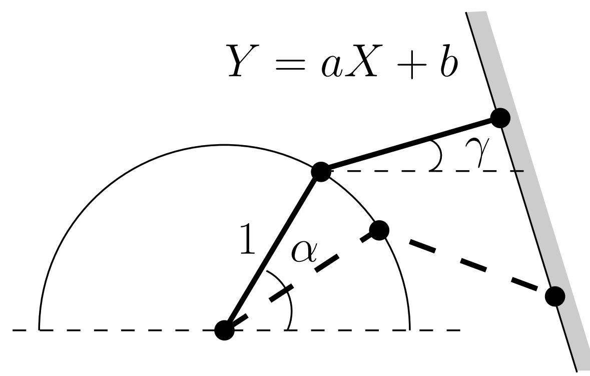


Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 3.



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 3.

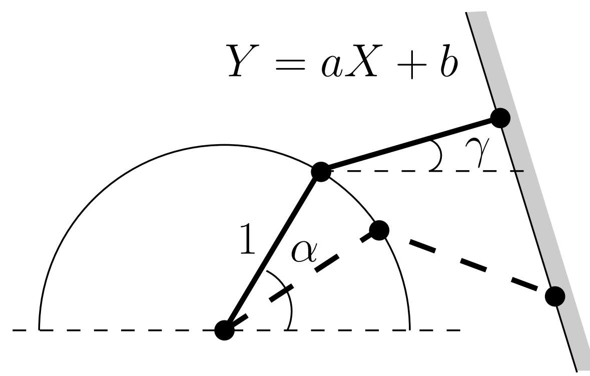
Kontakt: Roboterecke mit Hinderniskante! Entlangschieben!



Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 3.

Kontakt: Roboterecke mit Hinderniskante! Entlangschieben!

Kurve im Konfigurationsraum!!

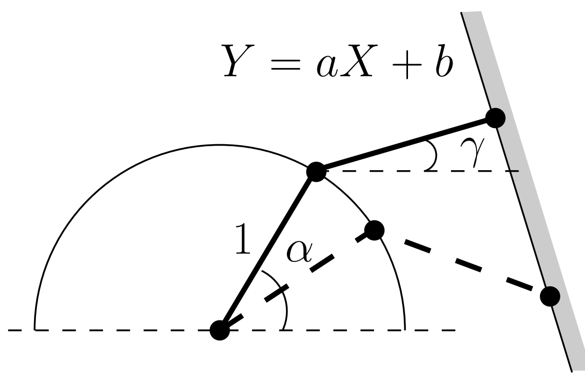


Wodurch wird eine Zelle begrenzt? 3.

Kontakt: Roboterecke mit Hinderniskante! Entlangschieben!

Kurve im Konfigurationsraum!!

Geschickte Parametrisierung wählen! (Tafel)



Algebraische Kurven!

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)\ i = 1, 2$

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Multivariante Polynome vom Grad ≤ 6!

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Multivariante Polynome vom Grad ≤ 6!

Theorie:

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Multivariante Polynome vom Grad ≤ 6!

Theorie: Je zwei maximal 6^2 Schnitte!

Algebraische Kurven!

1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Multivariante Polynome vom Grad ≤ 6!

Theorie: Je zwei maximal 6^2 Schnitte! Numerisch berechnen!

Algebraische Kurven!

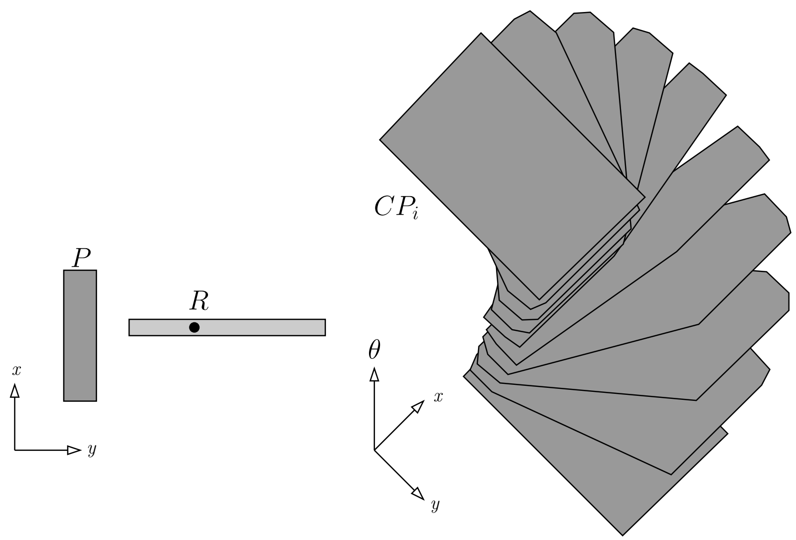
1. 2 Geraden $x = \cos(\alpha_i)$ $i = 1, 2$
2. n Kurven: (v, w) fest! $\{(x, y) | (2wy^2)^2(1 - x^2) = (v^2 - 2xv + x^2 - y^2v^2 + 2xvy^2 - w^2y^2 - y^2)^2\}$
3. n Kurven: (a, b) fest! $\{(x, y) | ((a(x + y) + b)^2 - 2 + x^2 + y^2)^2 = (1 - x^2)(1 - y^2)\}$

Multivariante Polynome vom Grad ≤ 6!

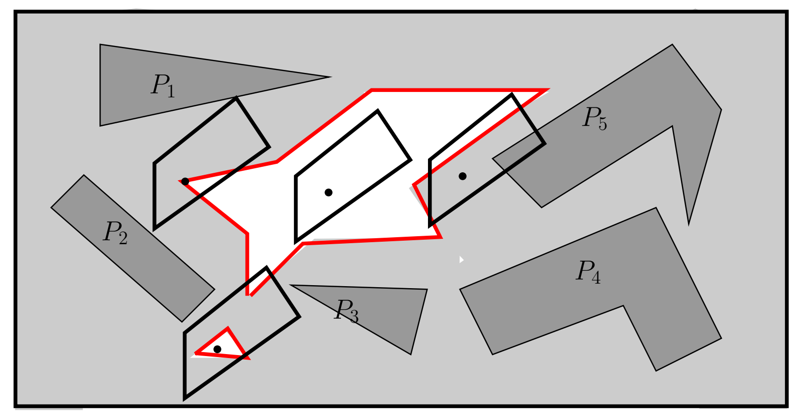
Theorie: Je zwei maximal 6^2 Schnitte! Numerisch berechnen!

Th. 2.22 anwenden: Bahnplanung in $O(\lambda_{(36+2)}(n) \log^2 n)$!!

Bahnplanungsprobleme

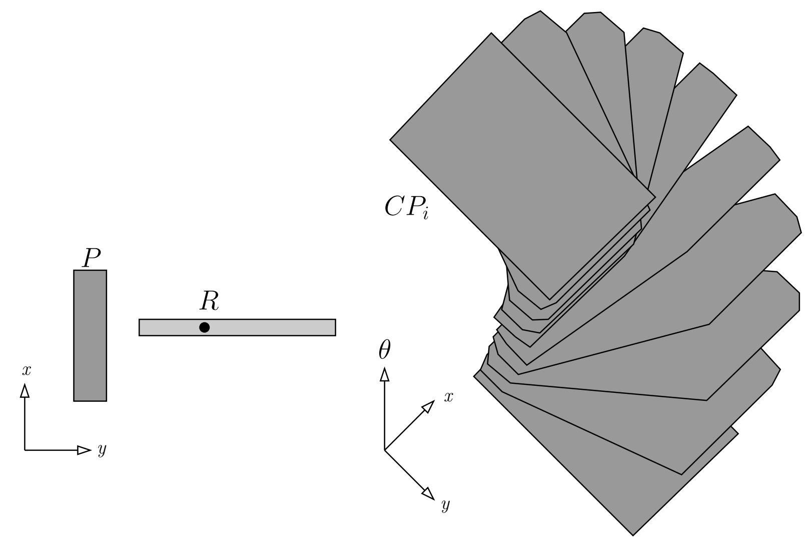


Arbeitsraum Konfigurationsraum

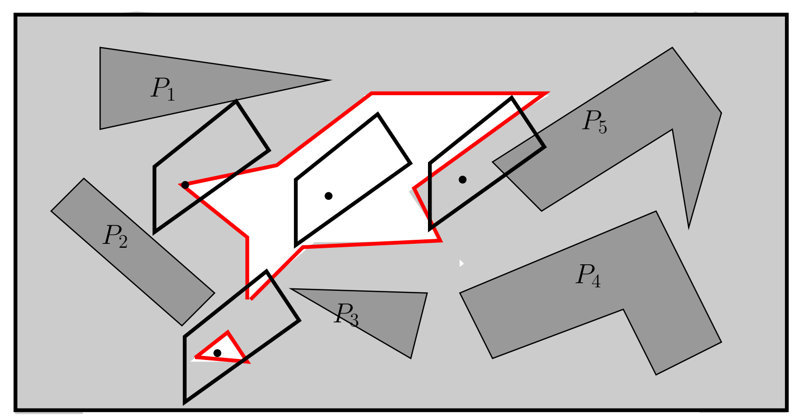


Bahnplanungsprobleme

- Bislang Konfigurationsraum berechnen, C_{frei}

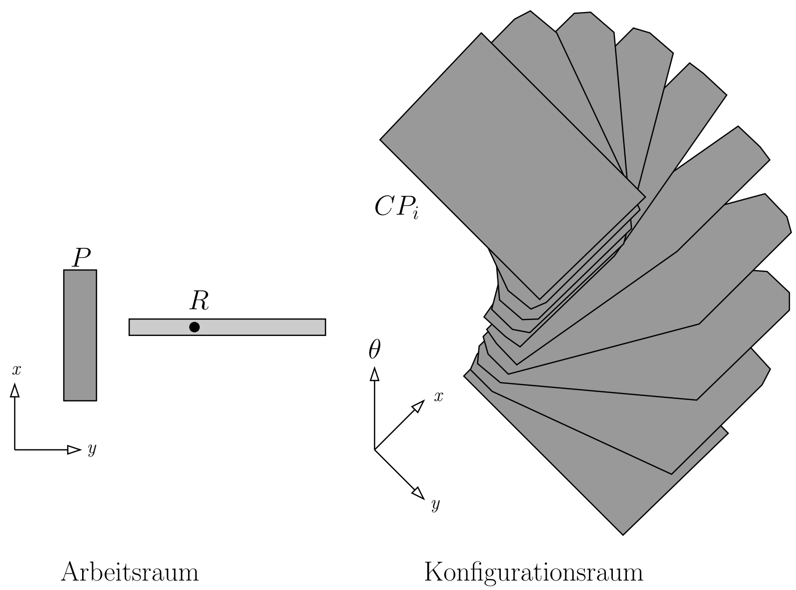


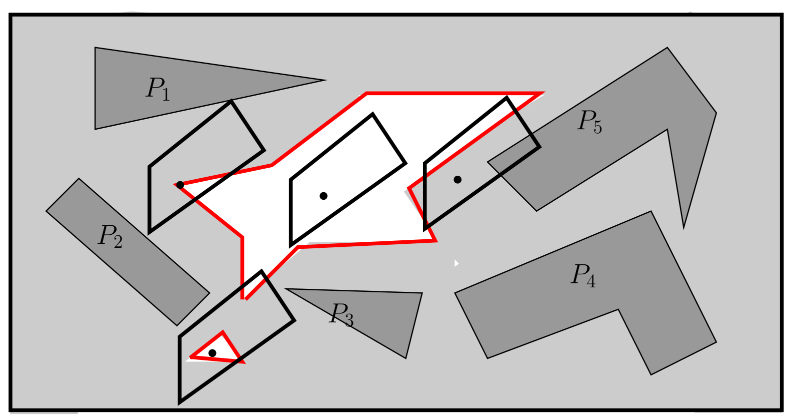
Arbeitsraum Konfigurationsraum



Bahnplanungsprobleme

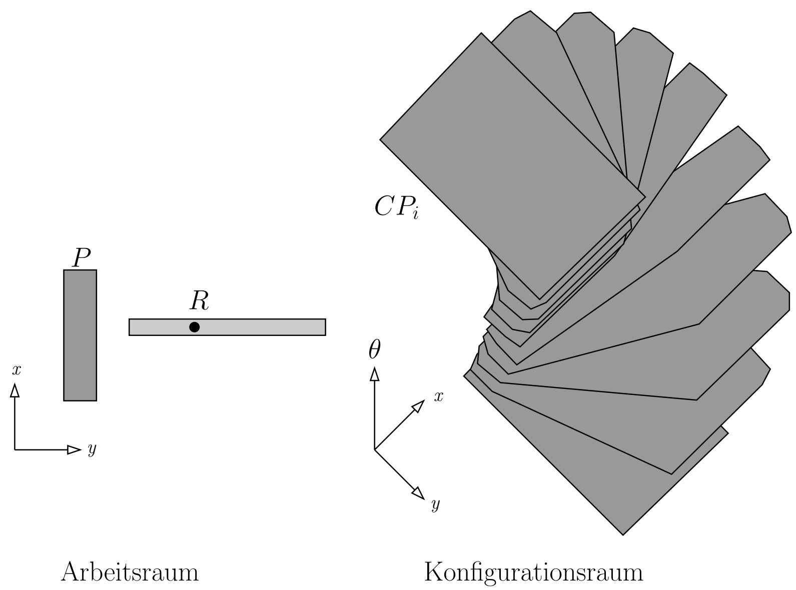
- Bislang Konfigurationsraum berechnen, C_{frei}
- Beispiel: Translation bel. Roboter

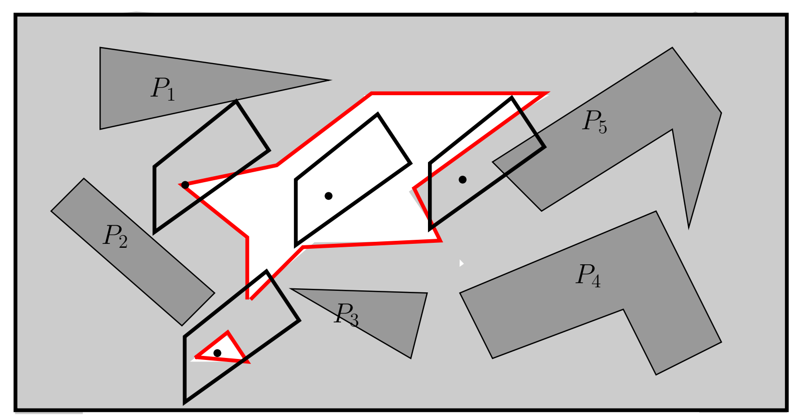




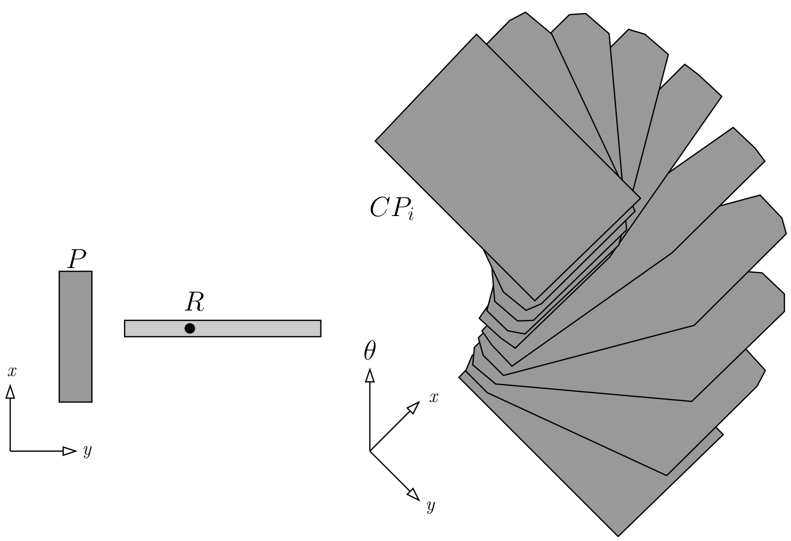
Bahnplanungsprobleme

- Bislang Konfigurationsraum berechnen, C_{frei}
- Beispiel: Translation bel. Roboter
- Beispiel: Rotation/Translation konvexer Roboter

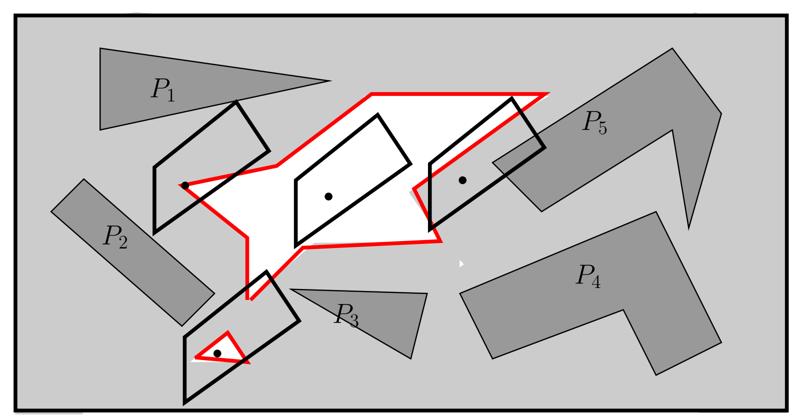




Bahnplanungsprobleme

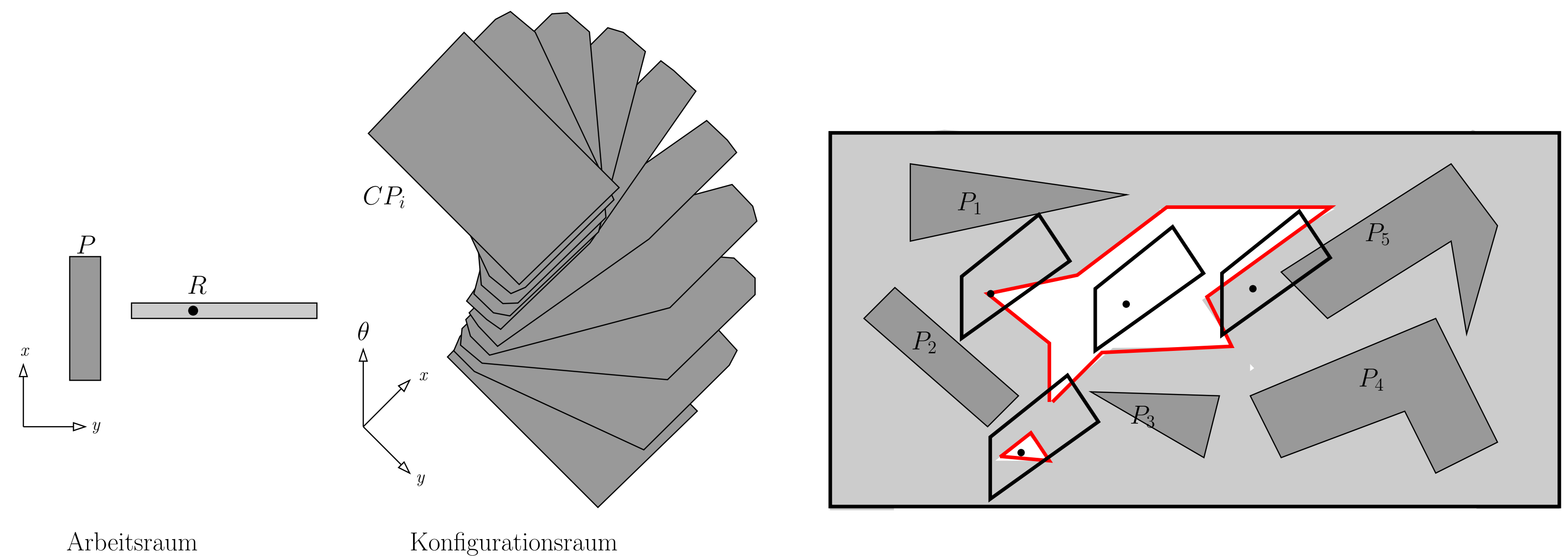


Arbeitsraum Konfigurationsraum



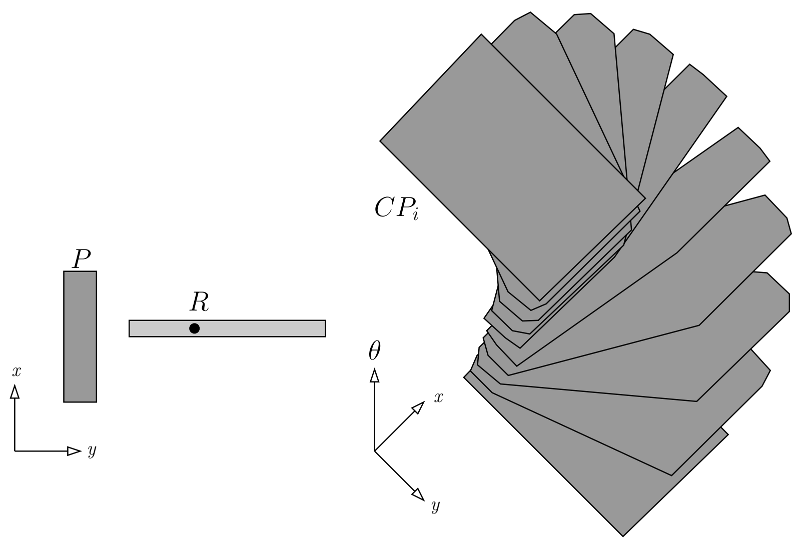
Bahnplanungsprobleme

- Laufzeiten für Konstruktion/Bahnplanung

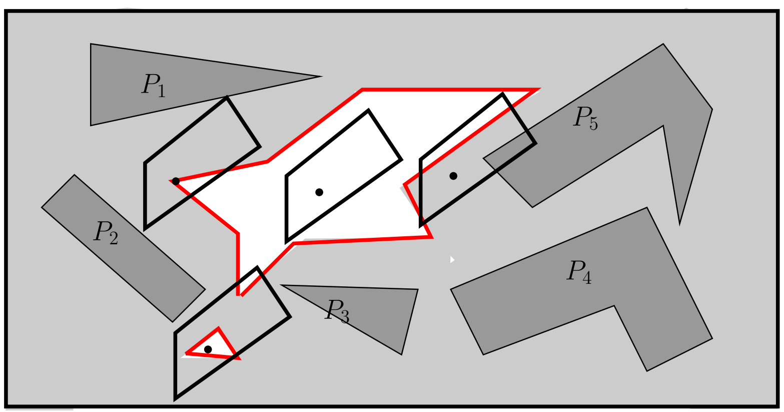


Bahnplanungsprobleme

- Laufzeiten für Konstruktion/Bahnplanung
- Allgemein: Laufzeit NP-schwer

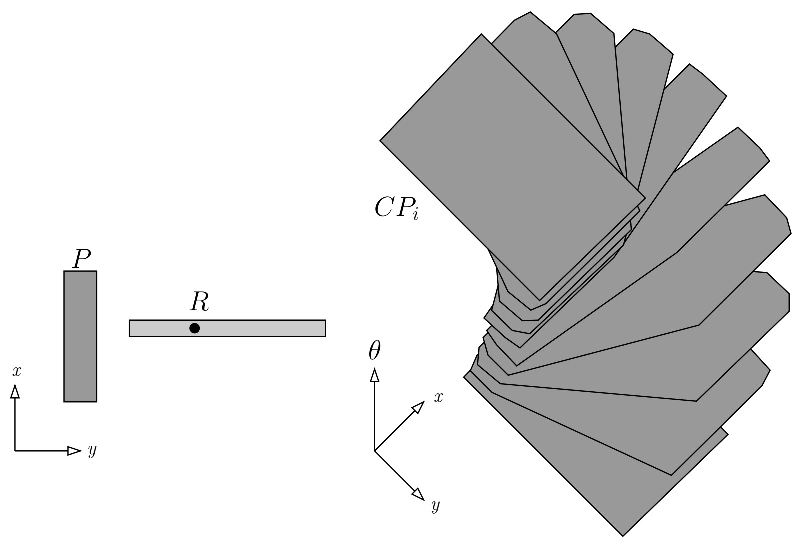


Arbeitsraum Konfigurationsraum

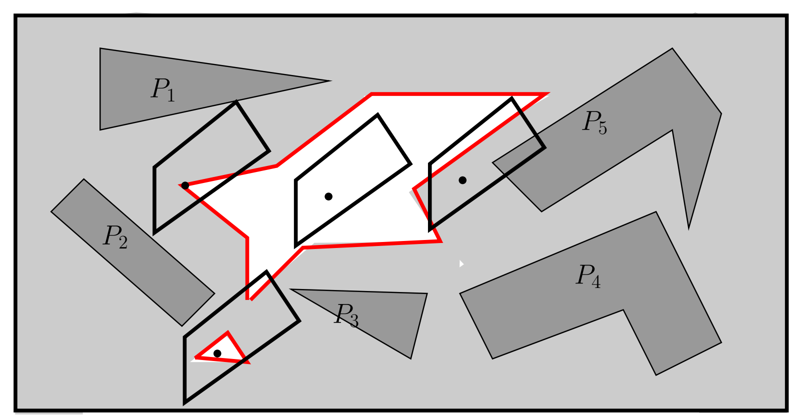


Bahnplanungsprobleme

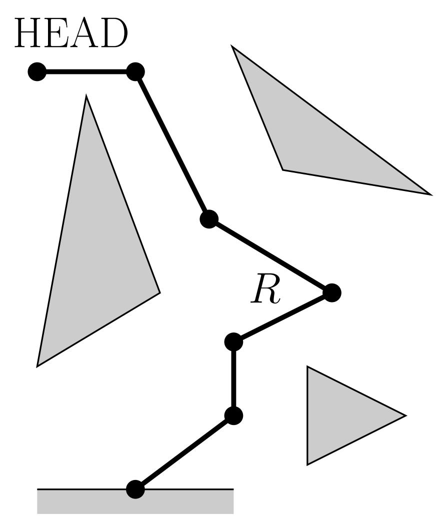
- Laufzeiten für Konstruktion/Bahnplanung
- Allgemein: Laufzeit NP-schwer
- Entscheidbarkeit? Lösung berechenbar?



Arbeitsraum Konfigurationsraum

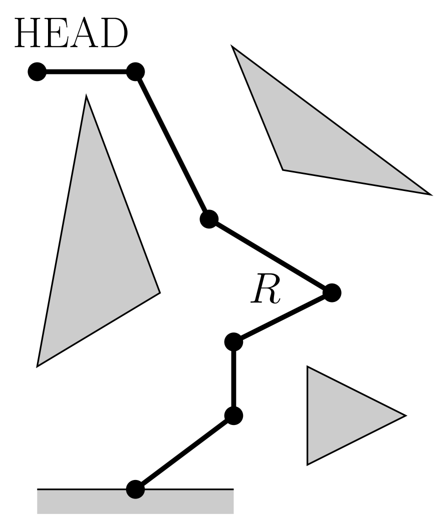


Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!



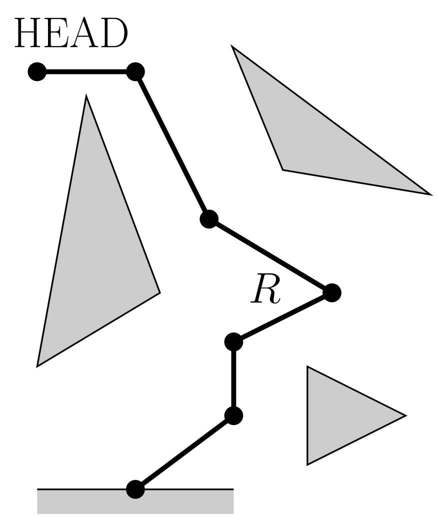
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!

- Krahnbewegung in polygonaler Szene



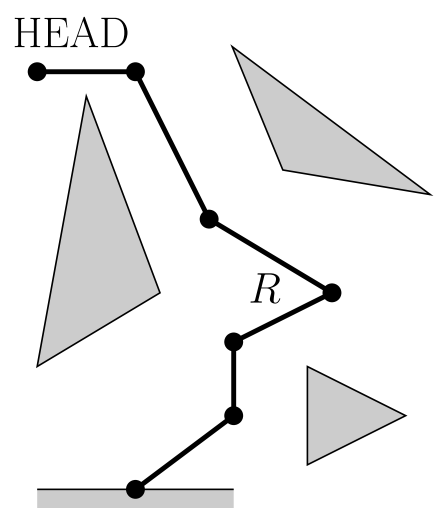
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!

- Krahnbewegung in polygonaler Szene
- m Gelenke und Kanten



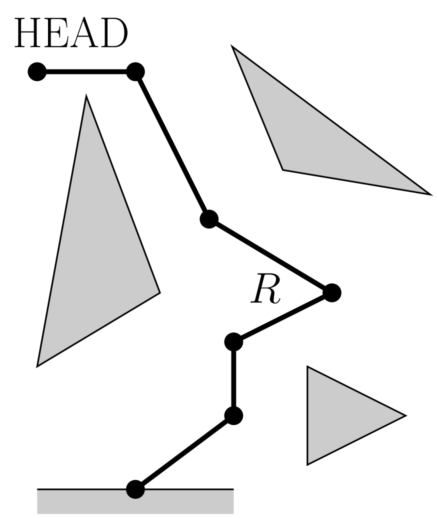
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!

- Krahnbewegung in polygonaler Szene
- m Gelenke und Kanten
- Ex. kollisionsfreie Bewegung des Kopfes?



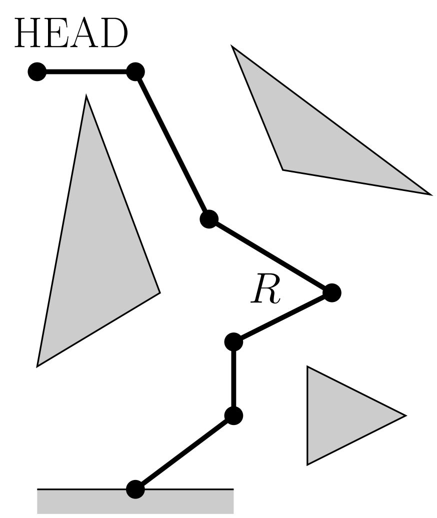
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!

- Krahnbewegung in polygonaler Szene
- m Gelenke und Kanten
- Ex. kollisionsfreie Bewegung des Kopfes?
- Von Start- zu Zielkonfiguration



Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!!

- Krahnbewegung in polygonaler Szene
- m Gelenke und Kanten
- Ex. kollisionsfreie Bewegung des Kopfes?
- Von Start- zu Zielkonfiguration
- Entscheidungsproblem lösen!



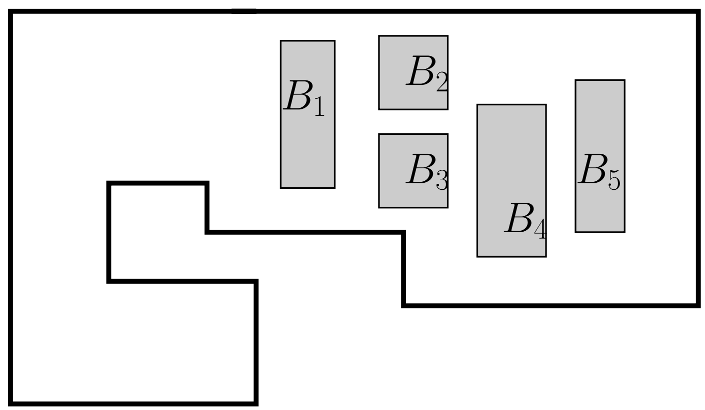
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!

Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!

- Bewegen von Boxen

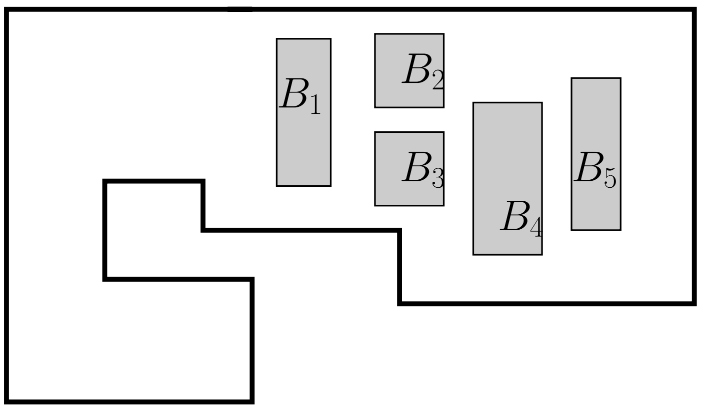
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!

- Bewegen von Boxen
- Von Start in Zielposition



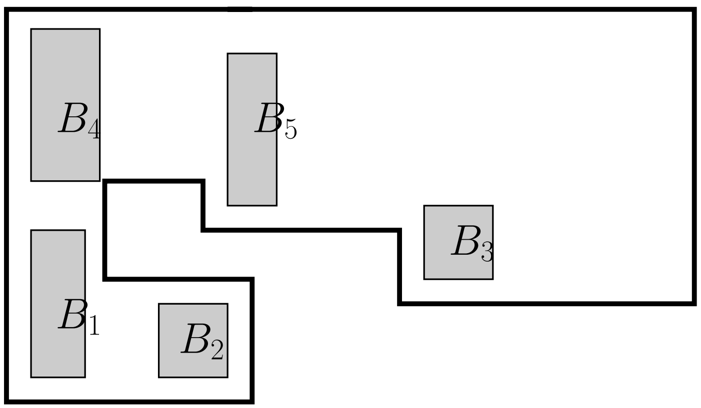
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!

- Bewegen von Boxen
- Von Start in Zielposition
- Ex. kollisionsfreie Bewegung?



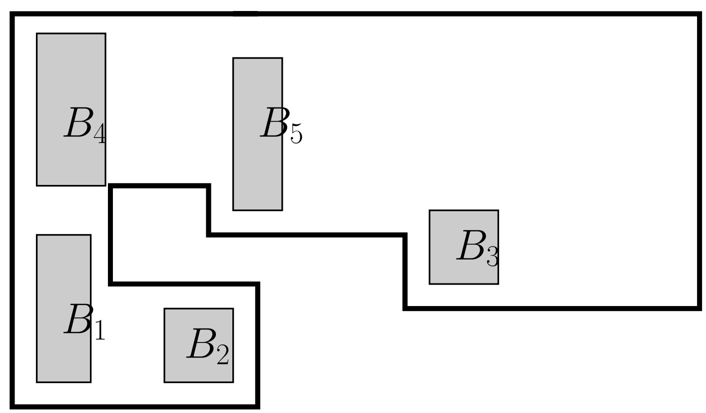
Allgemeine Bahnplanungprobleme: Laufzeit!

- Bewegen von Boxen
- Von Start in Zielposition
- Ex. kollisionsfreie Bewegung?



Verschieben von Boxen ist NP-hard

Theorem 3.1: Roboter R sei gegeben durch eine Menge von m unterschiedlich großen, achsenparallelen Rechtecken R_i, die nicht miteinander verbunden sind. Die Umgebung sei ein einfaches Polygon P mit achsenparallelen Kanten. Start– und Zielposition s und t seien halbfreie Positionen der R_i in P. Zu entscheiden, ob es in diesem Modell eine kollisionsfreie Bewegung von s nach t gibt, ist NP-schwer.



Reduktion von Partition!

Reduktion von Partition!

- Gegeben ist Menge $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$

Reduktion von Partition!

- Gegeben ist Menge $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$
- Existiert Teilmenge $Y \subset X$ mit $\sum\limits_{a_i \in Y} a_i = \sum\limits_{a_j \in X \setminus Y} a_j$

Reduktion von Partition!

- Gegeben ist Menge $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$
- Existiert Teilmenge $Y \subset X$ mit $\sum\limits_{a_i \in Y} a_i = \sum\limits_{a_j \in X \setminus Y} a_j$
- Partition ist NP-vollständig, Garey/Johnson 79

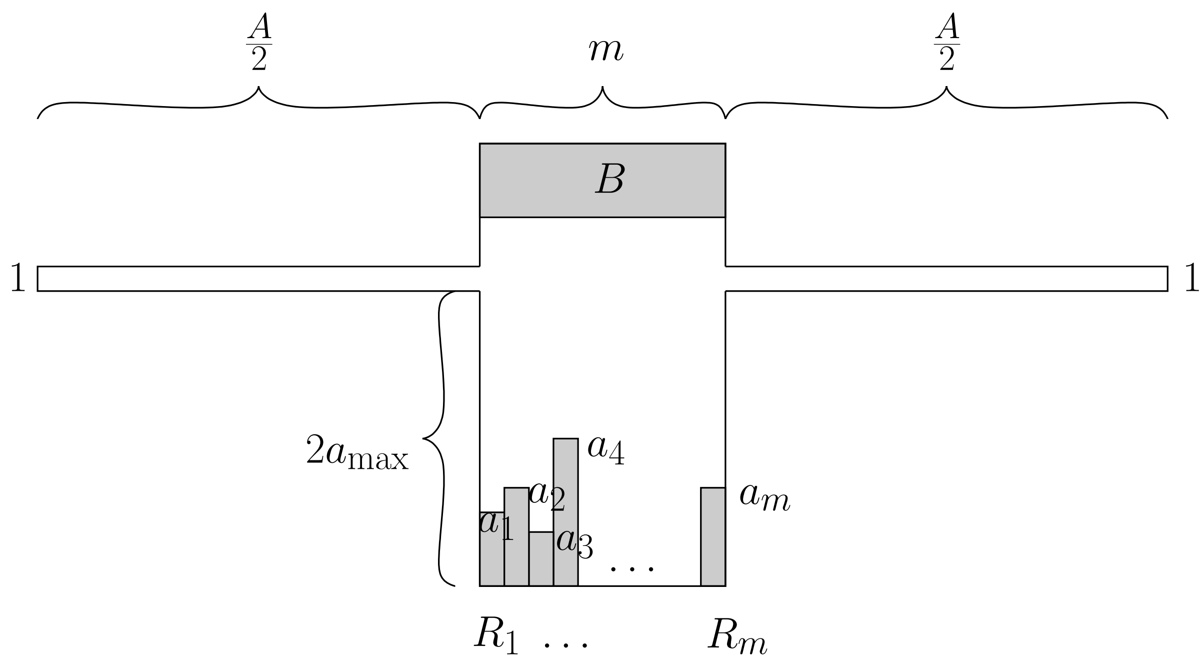
Reduktion von Partition!

- Gegeben ist Menge $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$
- Existiert Teilmenge $Y \subset X$ mit $\sum_{a_i \in Y} a_i = \sum_{a_j \in X \setminus Y} a_j$
- Partition ist NP-vollständig, Garey/Johnson 79
- Liegt in NP, ist NP-schwer

Reduktion von Partition!

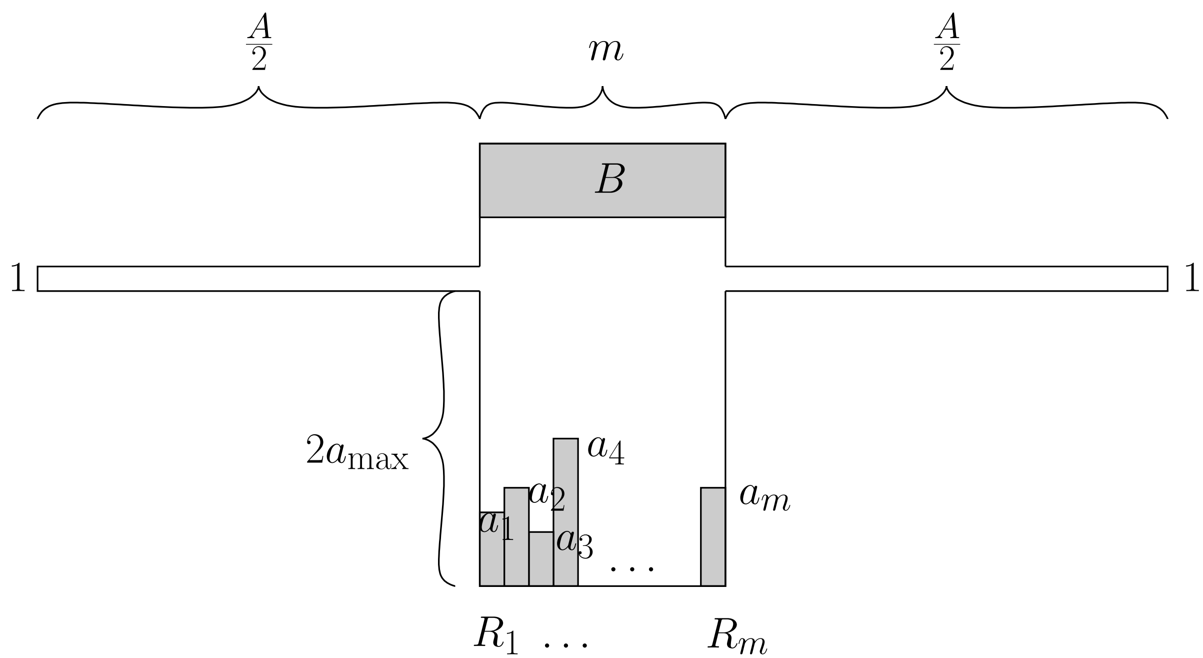
- Gegeben ist Menge $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$
- Existiert Teilmenge $Y \subset X$ mit $\sum\limits_{a_i \in Y} a_i = \sum\limits_{a_j \in X \setminus Y} a_j$
- Partition ist NP-vollständig, Garey/Johnson 79
- Liegt in NP, ist NP-schwer
- Übersetze Partition in Box-Planungsproblem

Konstruktion einer Szene



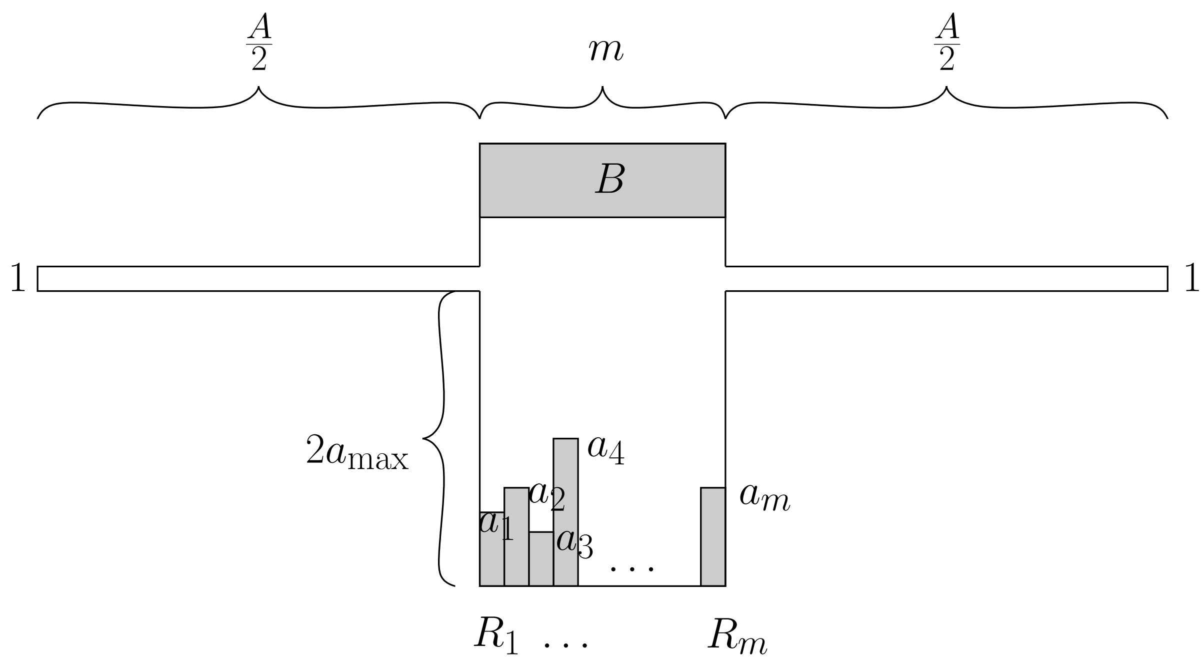
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$,



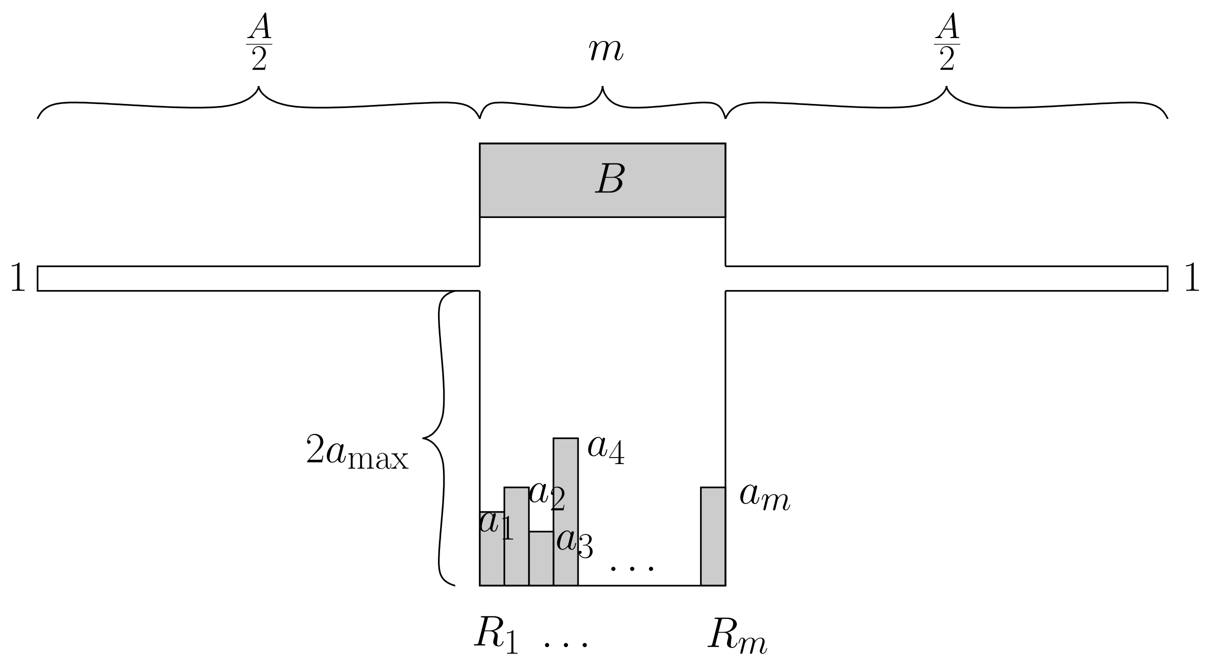
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.



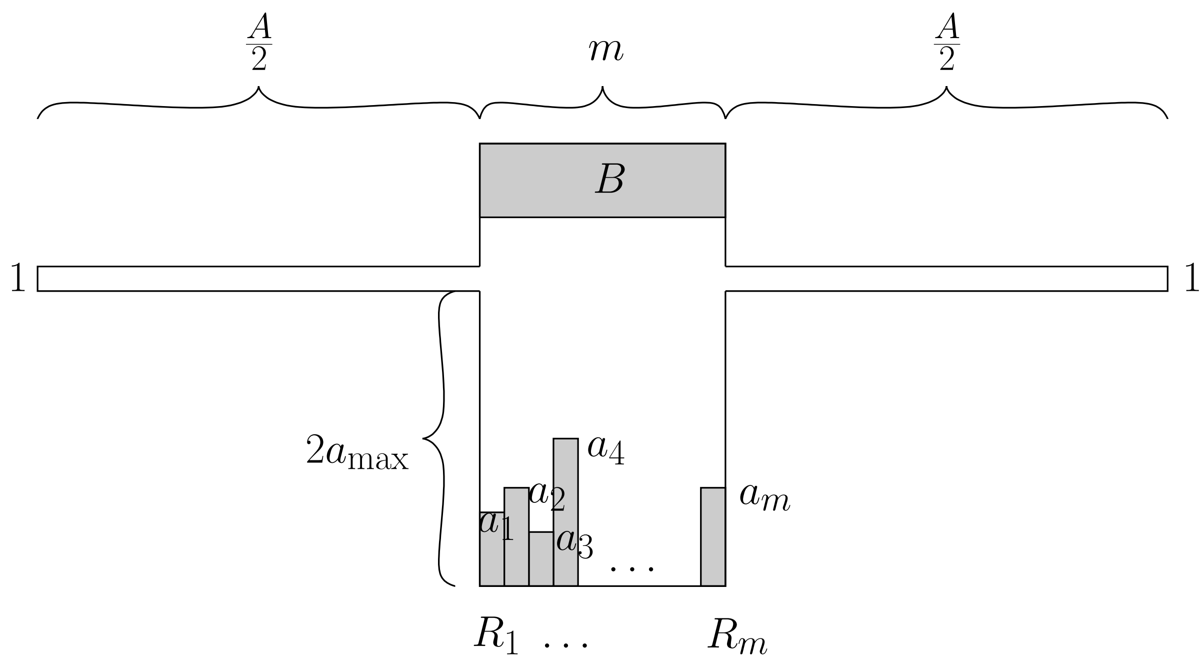
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.
- *Halle*: Breite m,



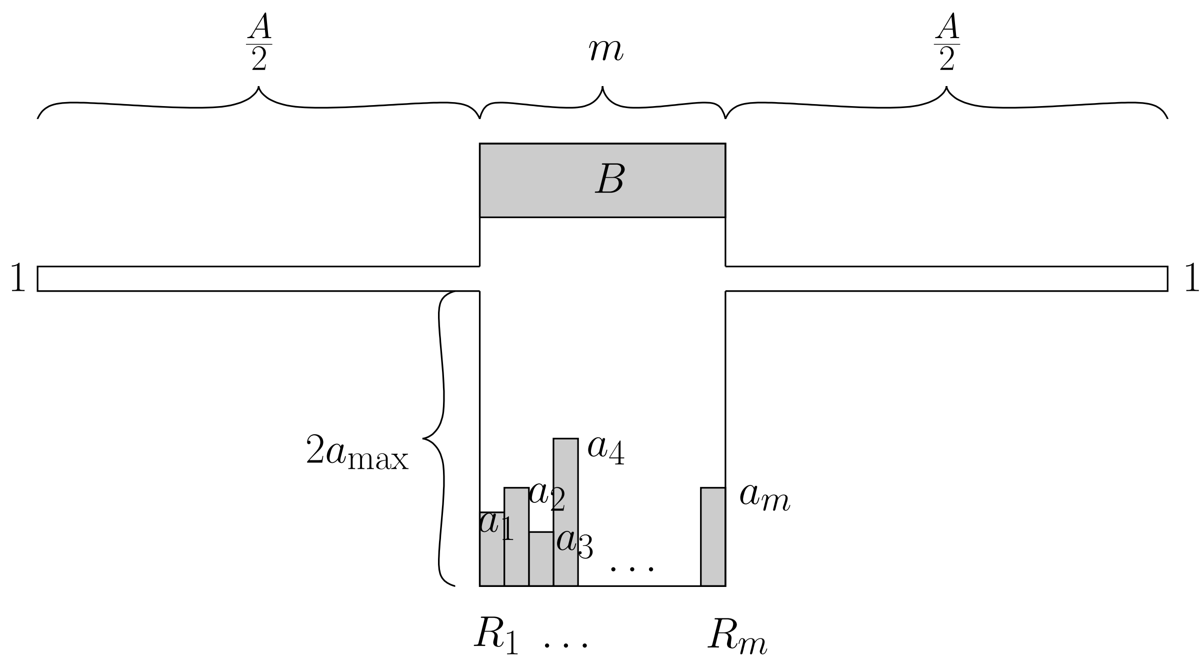
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.
- *Halle*: Breite m, *Arme*: Breite $\frac{A}{2}$, Höhe 1, ab $2a_{\max}$



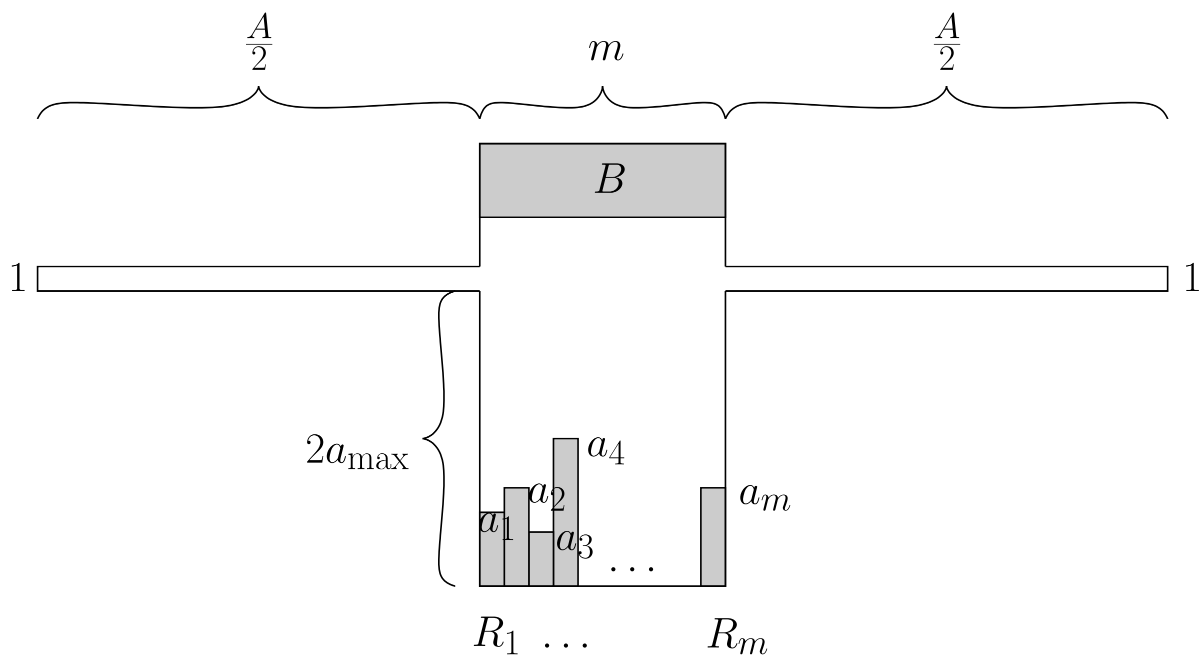
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.
- *Halle*: Breite m, *Arme*: Breite $\frac{A}{2}$, Höhe 1, ab $2a_{\max}$
- Für a_i Rechteck R_i: Höhe a_i, Breite 1, Hallenboden



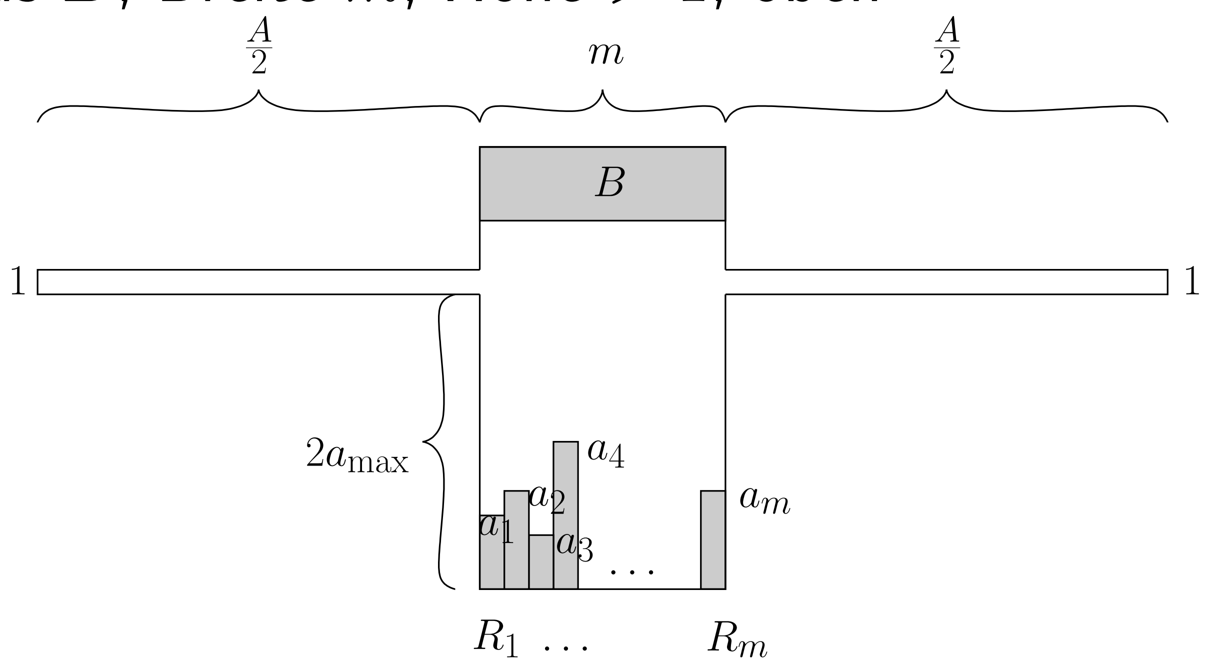
Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.
- *Halle*: Breite m, *Arme*: Breite $\frac{A}{2}$, Höhe 1, ab $2a_{\max}$
- Für a_i Rechteck R_i: Höhe a_i, Breite 1, Hallenboden
- R: R_i,

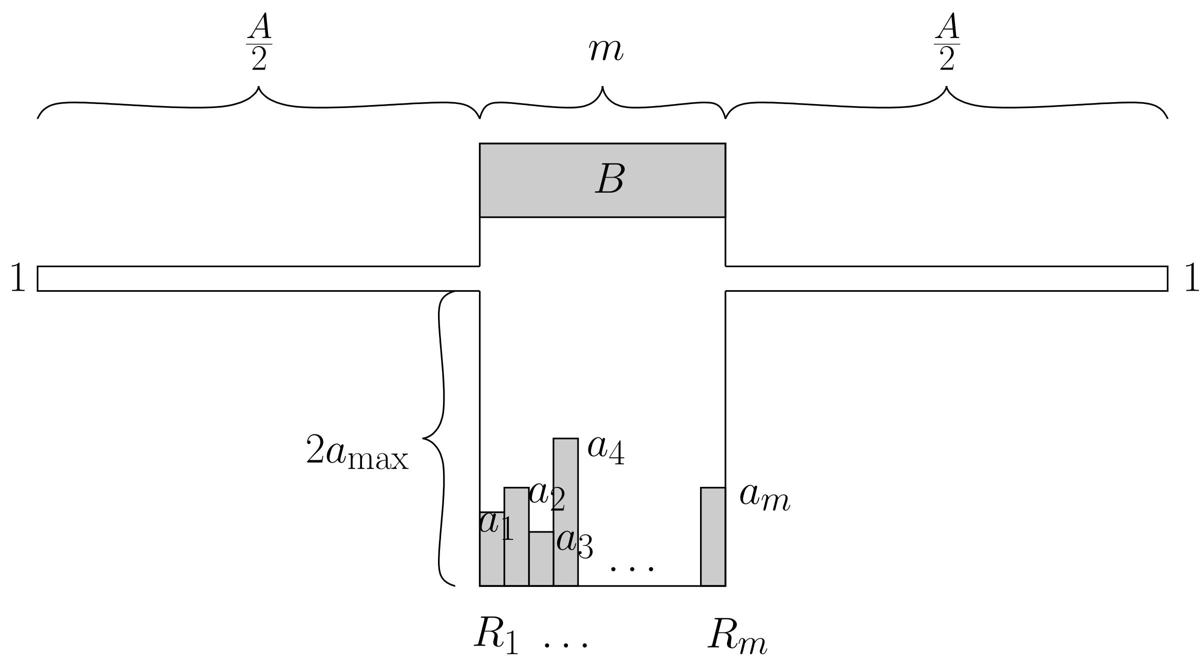


Konstruktion einer Szene

- $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$, sei $A := \sum_{i=1}^{m} a_i$ und $a_{\max} := \max_{1 \le i \le m} a_i$.
- *Halle*: Breite m, *Arme*: Breite $\frac{A}{2}$, Höhe 1, ab $2a_{\max}$
- Für a_i Rechteck R_i: Höhe a_i, Breite 1, Hallenboden
- R: R_i, plus B, Breite m, Höhe > 1, oben

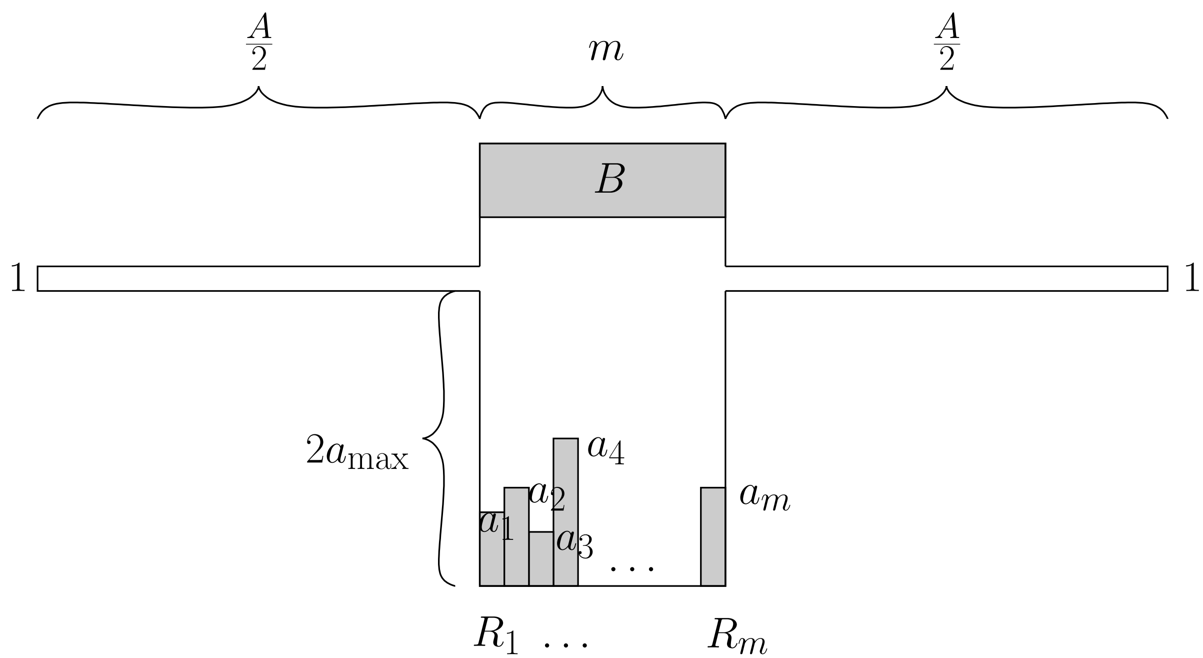


Konstruktion einer Szene



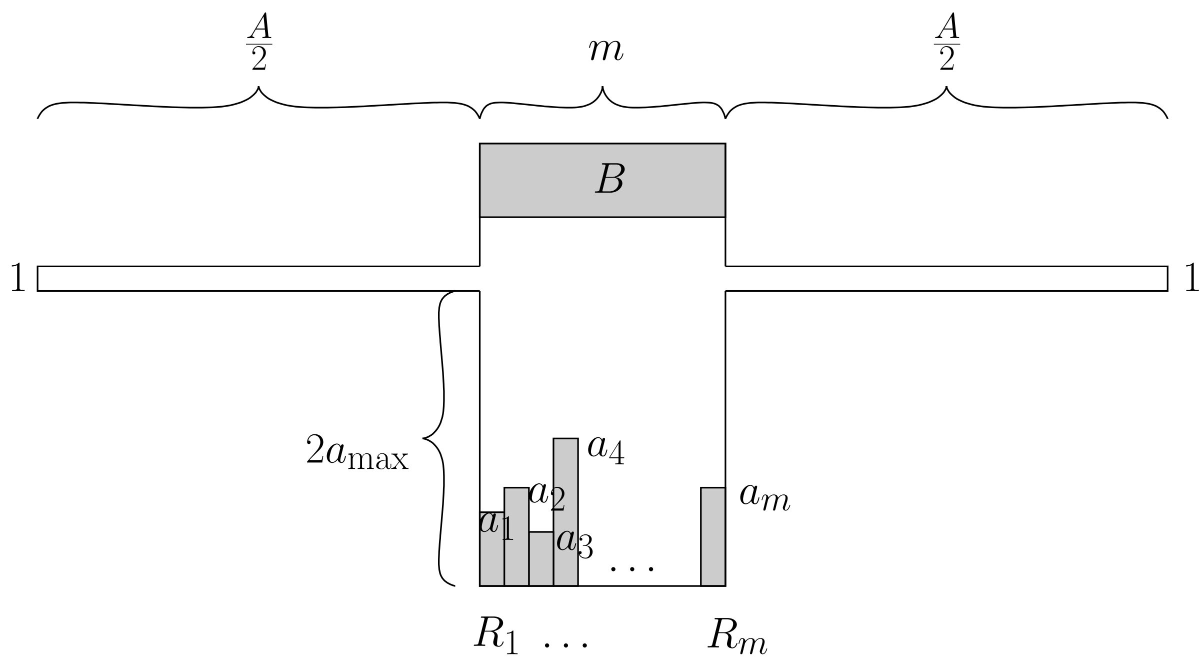
Konstruktion einer Szene

- Zielkonfiguration: B soll unten sein, die R_is oben



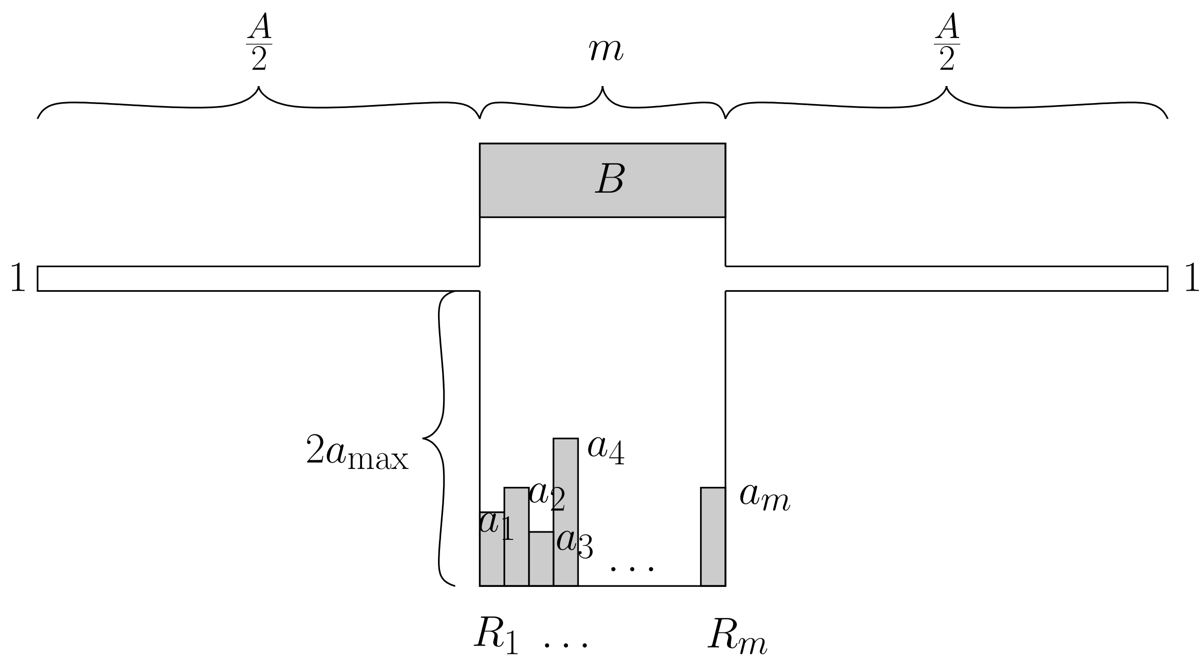
Konstruktion einer Szene

- Zielkonfiguration: B soll unten sein, die R_is oben
- Offensichtlich: Nur durch verschieben der R_i in die Arme



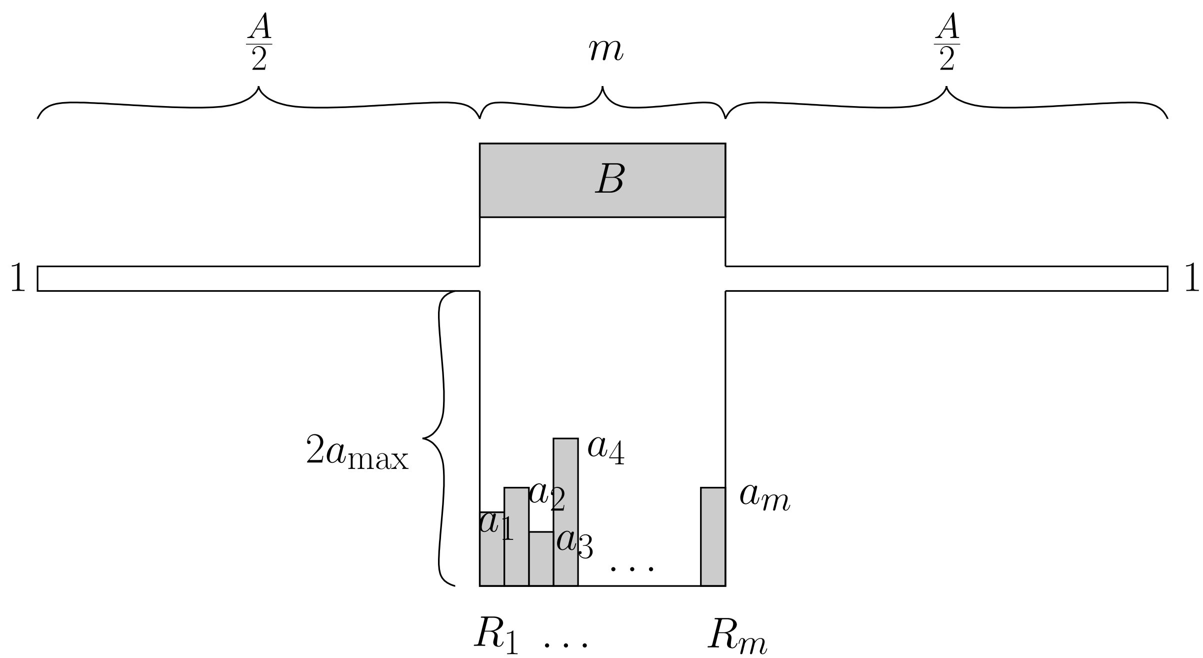
Konstruktion einer Szene

- Zielkonfiguration: B soll unten sein, die R_is oben
- Offensichtlich: Nur durch verschieben der R_i in die Arme
- So, dass auf beiden Seiten A/2

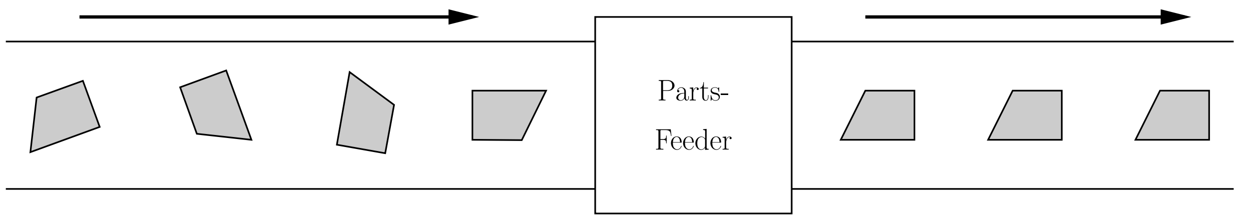


Konstruktion einer Szene

- Zielkonfiguration: B soll unten sein, die R_is oben
- Offensichtlich: Nur durch verschieben der R_i in die Arme
- So, dass auf beiden Seiten A/2
- Partition von $X = \{a_1, \ldots, a_m\} \subset N$

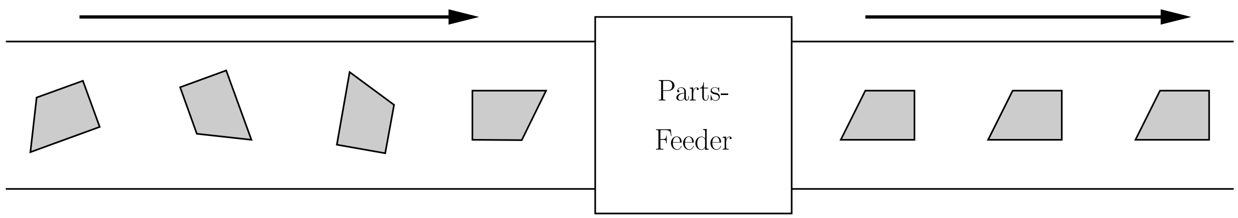


Orientierung polygonaler Werkstücke



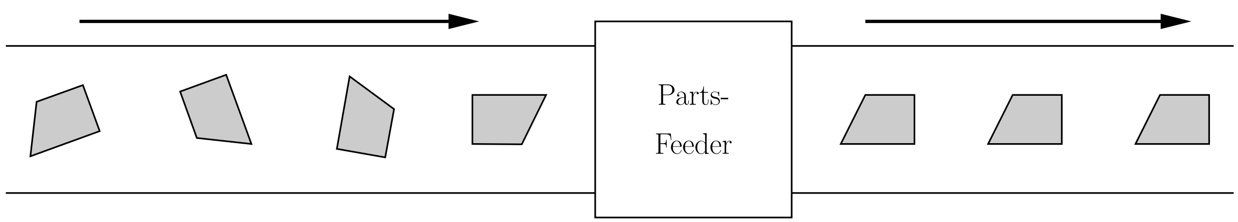
Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen



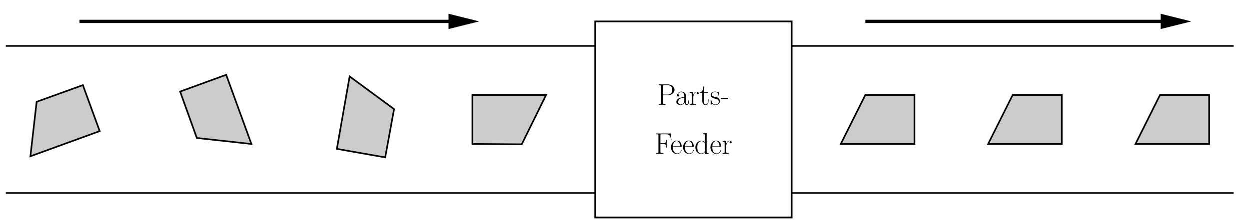
Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen
- Bearbeitung der Werkstücke



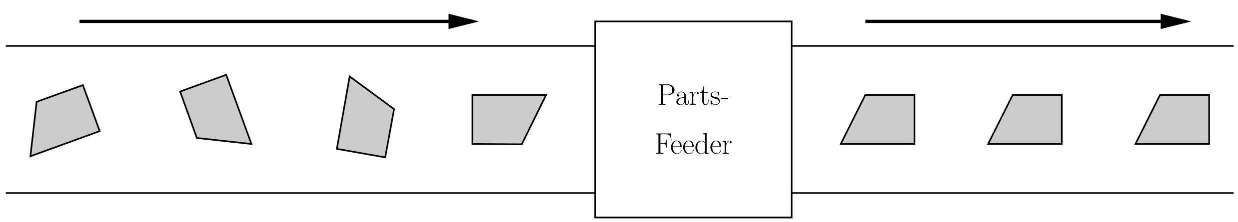
Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen
- Bearbeitung der Werkstücke
- Part-Feeder: Black Box



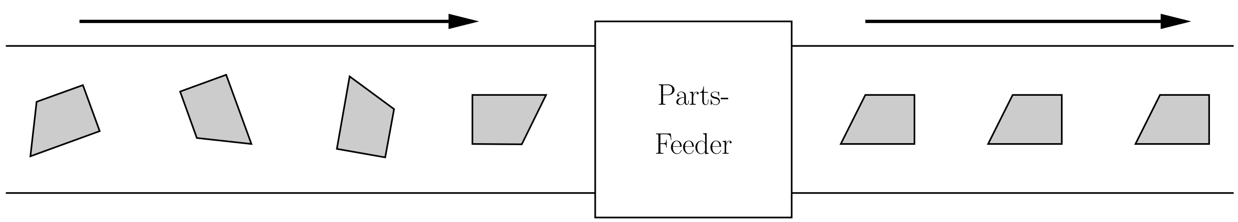
Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen
- Bearbeitung der Werkstücke
- Part-Feeder: Black Box
- Häufig direkt auf Rohlinge abgestimmt: Hardware-Wechsel



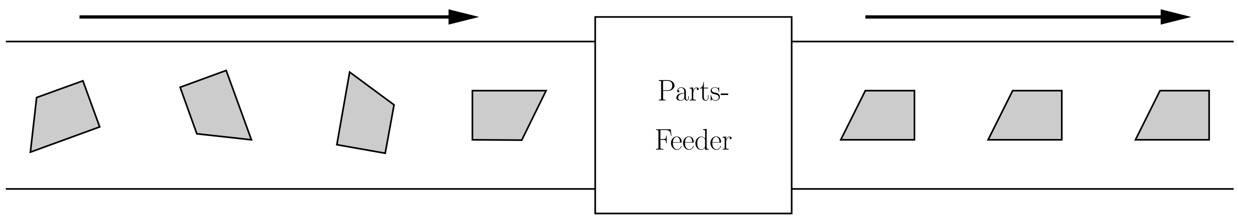
Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen
- Bearbeitung der Werkstücke
- Part-Feeder: Black Box
- Häufig direkt auf Rohlinge abgestimmt: Hardware-Wechsel
- Geometrie ausnutzen, rekonfigurierbar, ohne Sensorik

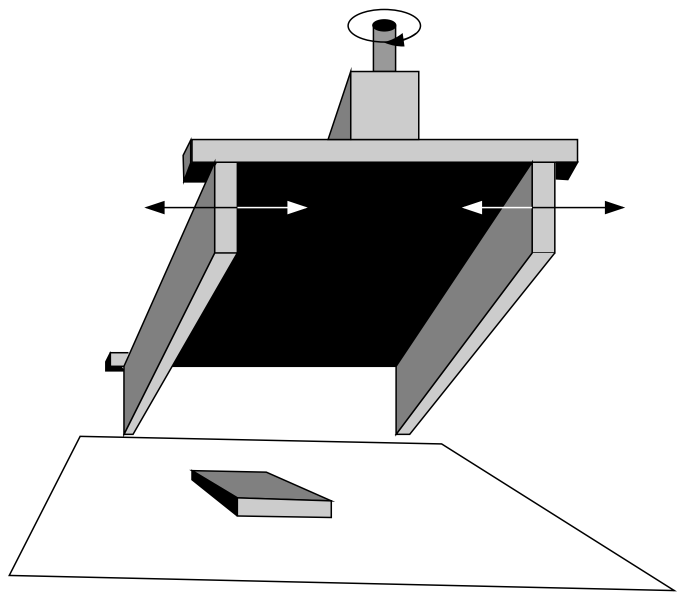


Orientierung polygonaler Werkstücke

- Rohlinge zur Verarbeitung in die richtige Lage bringen
- Bearbeitung der Werkstücke
- Part-Feeder: Black Box
- Häufig direkt auf Rohlinge abgestimmt: Hardware-Wechsel
- Geometrie ausnutzen, rekonfigurierbar, ohne Sensorik
- Software

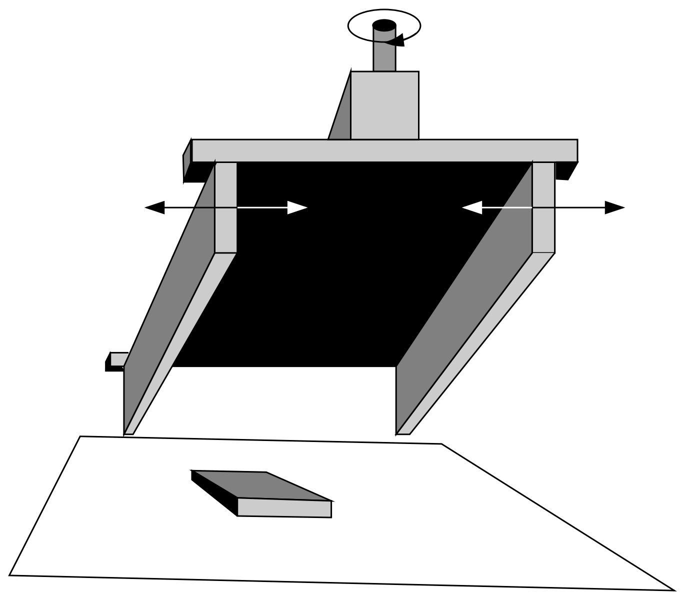


Hardware: Parallel Jaw-Gripper



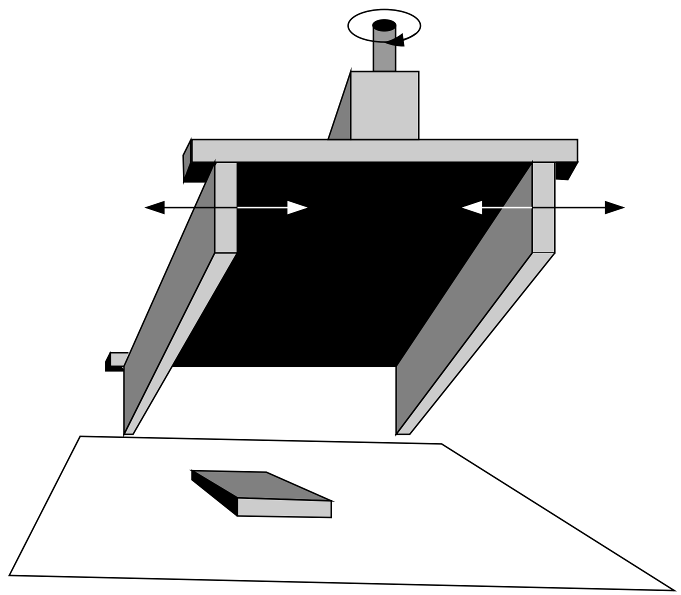
Hardware: Parallel Jaw-Gripper

- Drehen des Greifers



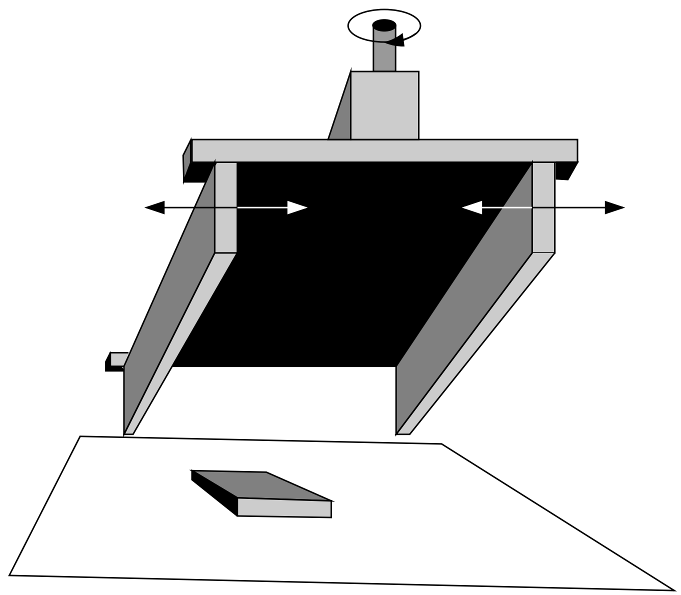
Hardware: Parallel Jaw-Gripper

- Drehen des Greifers
- Schließen der Backen



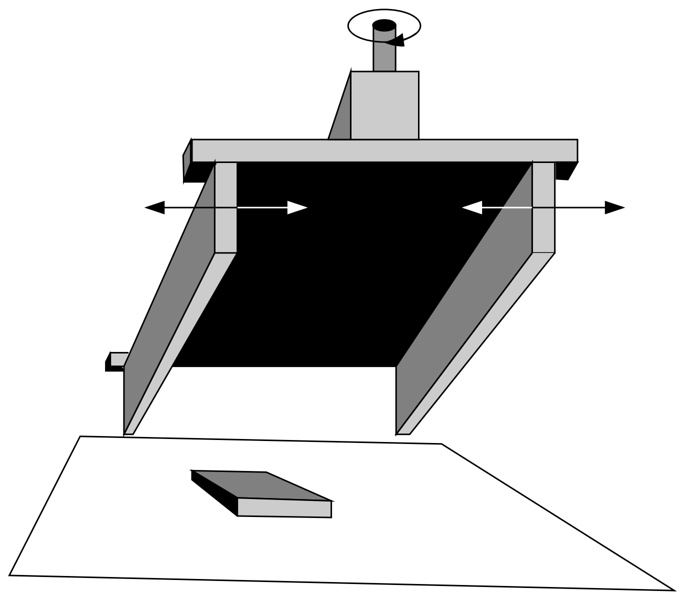
Hardware: Parallel Jaw-Gripper

- Drehen des Greifers
- Schließen der Backen
- Öffnen der Backen



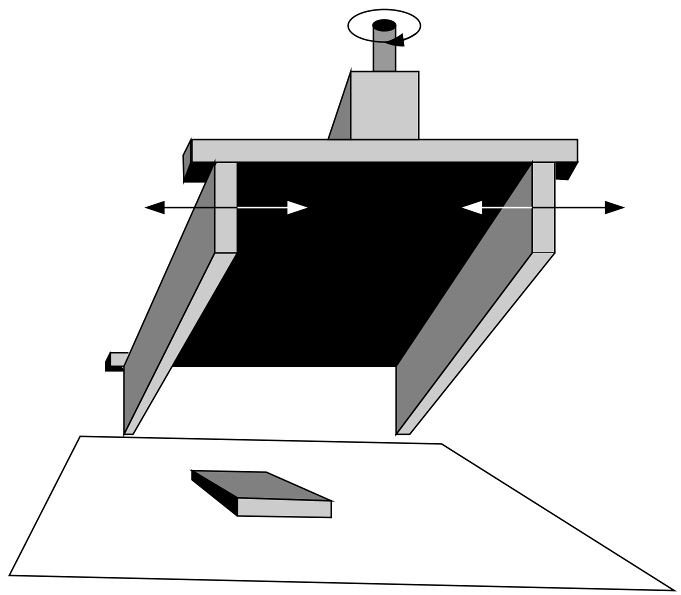
Hardware: Parallel Jaw-Gripper

- Drehen des Greifers
- Schließen der Backen
- Öffnen der Backen
- Aktion: Verursacht Drehung des Objektes



Hardware: Parallel Jaw-Gripper

- Drehen des Greifers
- Schließen der Backen
- Öffnen der Backen
- Aktion: Verursacht Drehung des Objektes
- Plan von Aktionen berechnen



Geometrisches Modell

Geometrisches Modell

- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon

Geometrisches Modell

- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon
- Output: *Squeeze*-Plan: Folge von Drehen-Greifen

Geometrisches Modell

- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon
- Output: *Squeeze*-Plan: Folge von Drehen-Greifen
- Winkel: $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$

Geometrisches Modell

- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon
- Output: *Squeeze*-Plan: Folge von Drehen-Greifen
- Winkel: $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$
- Bis auf Symmetrie in eindeutige Lage bringen

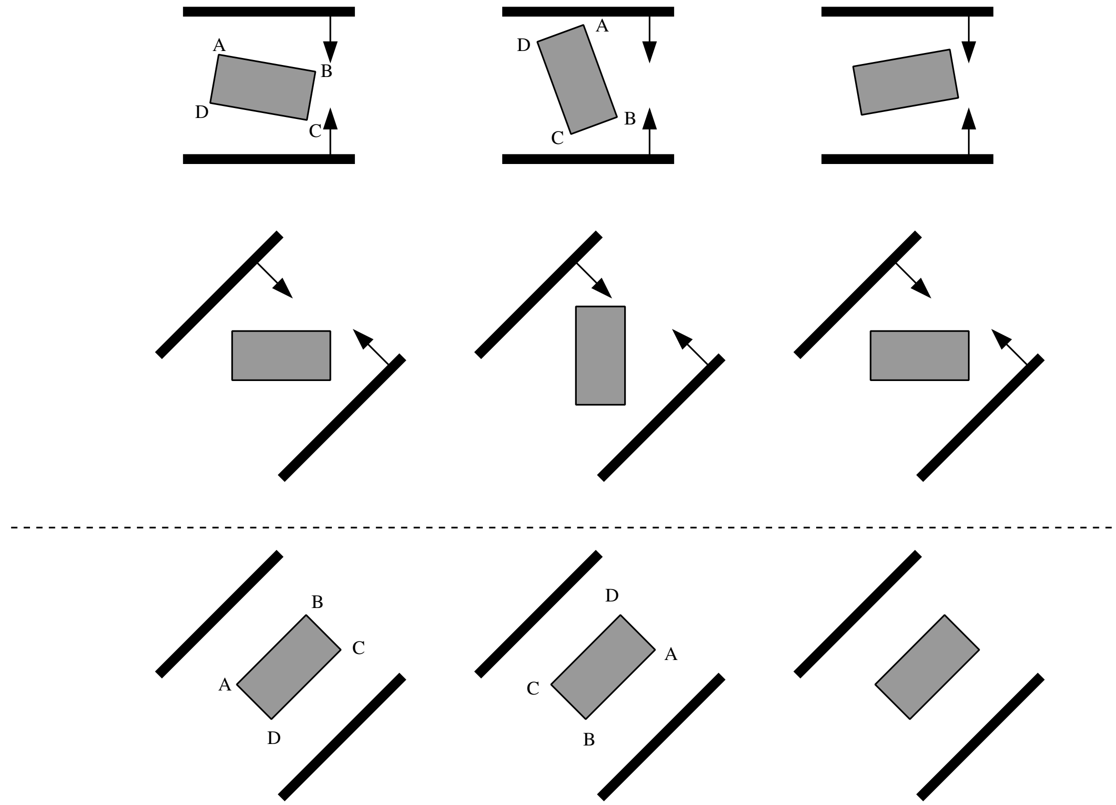
Geometrisches Modell

- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon
- Output: *Squeeze*-Plan: Folge von Drehen-Greifen
- Winkel: $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$
- Bis auf Symmetrie in eindeutige Lage bringen
- Plan exakt berechnen aus der Geometrie

Geometrisches Modell

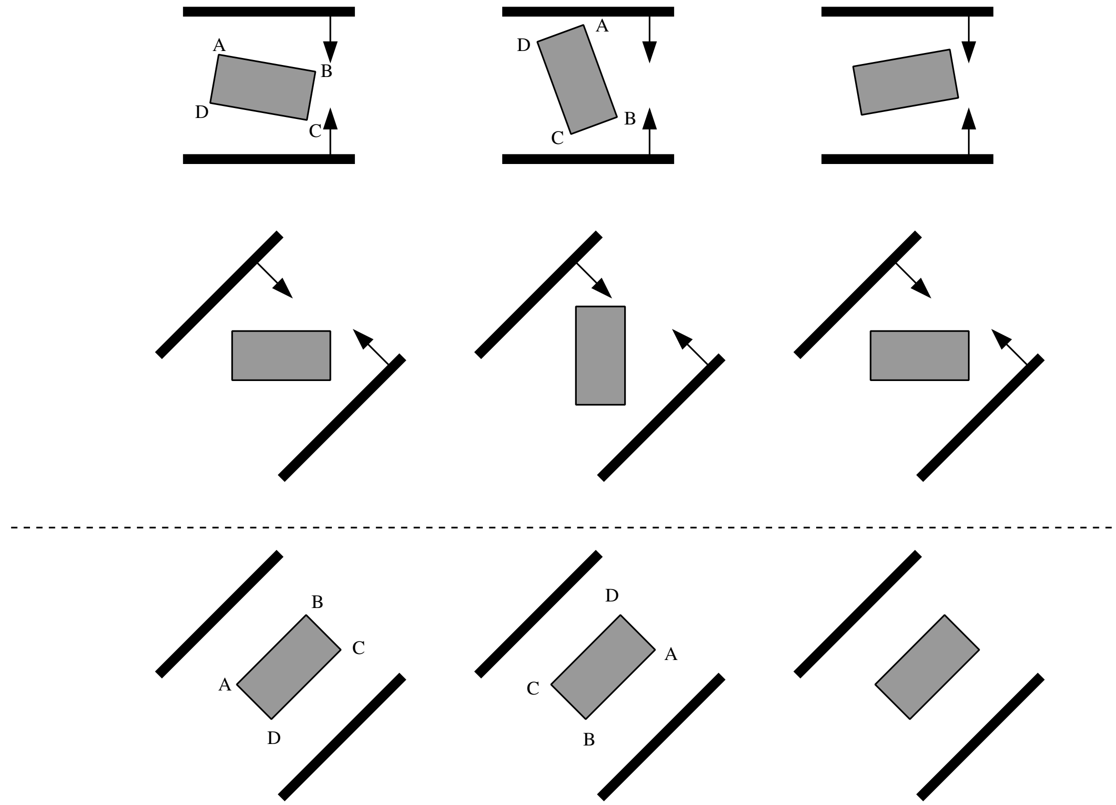
- Input: Polygonales Werkstück, Konvexe Hülle davon
- Output: *Squeeze*-Plan: Folge von Drehen-Greifen
- Winkel: $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$
- Bis auf Symmetrie in eindeutige Lage bringen
- Plan exakt berechnen aus der Geometrie
- Andere Ansätze: Simulation, Heuristiken, Genetische Alg.

Beispiel!



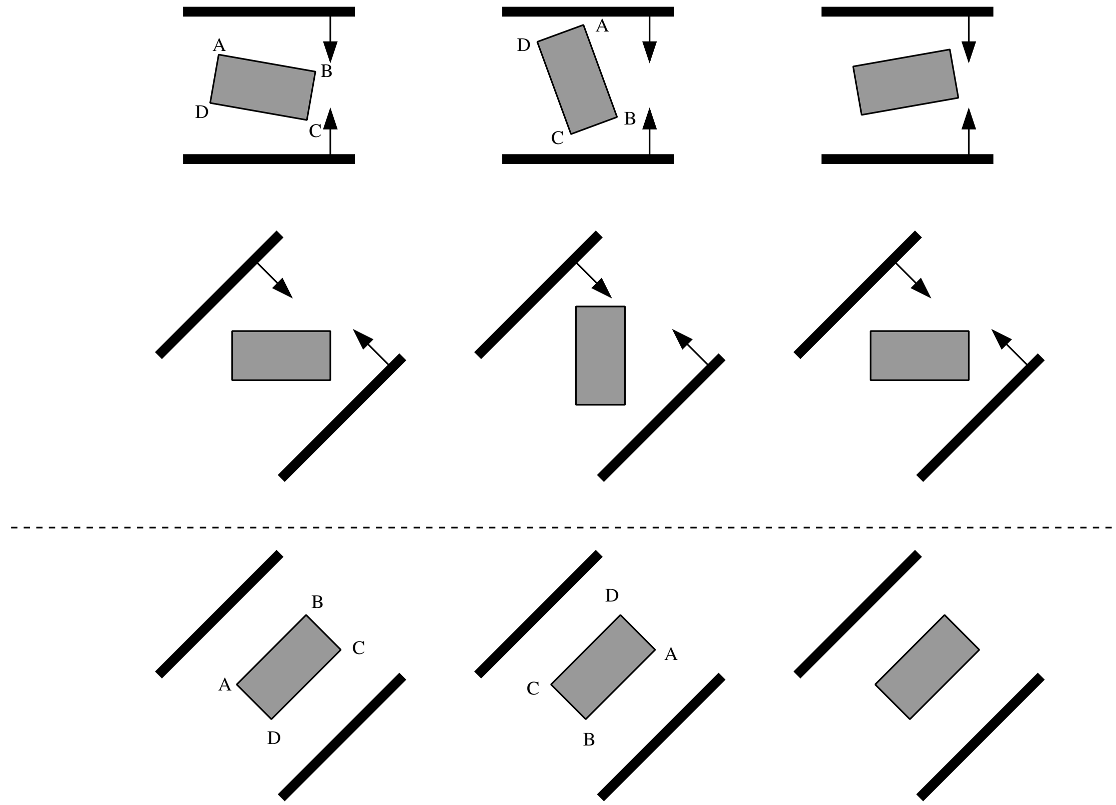
Beispiel!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$



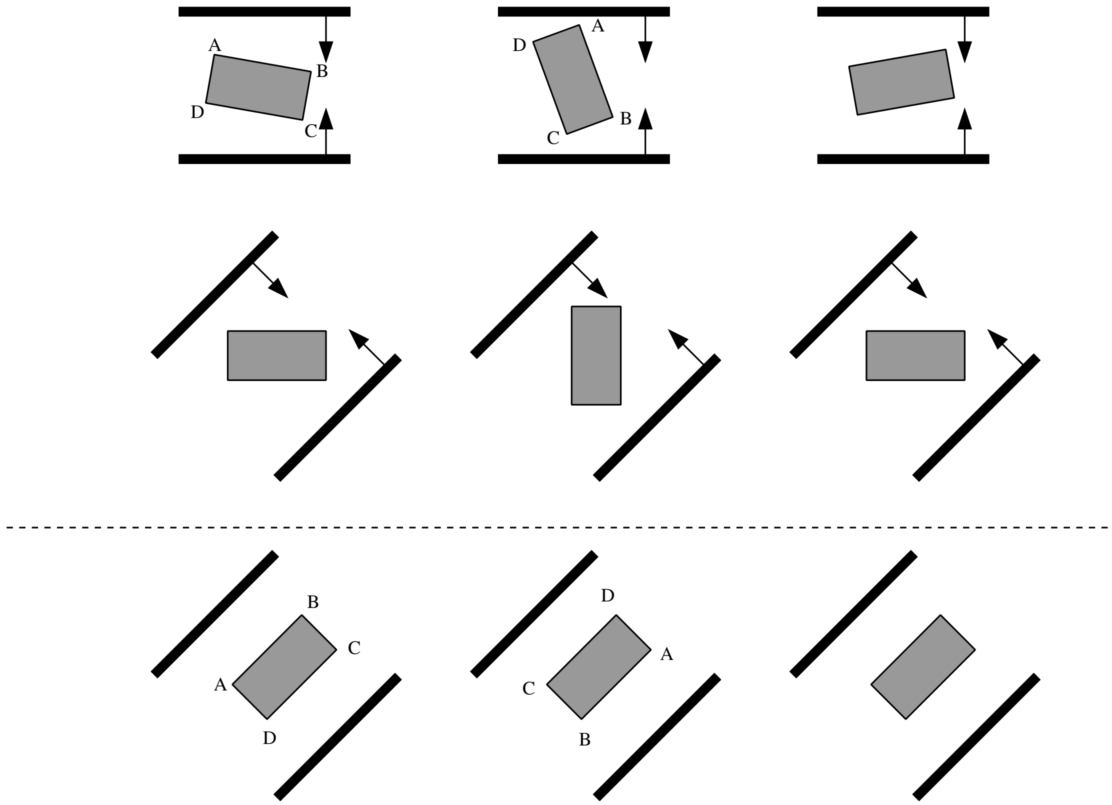
Beispiel!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Bringt Werkstück in gleiche Endlage



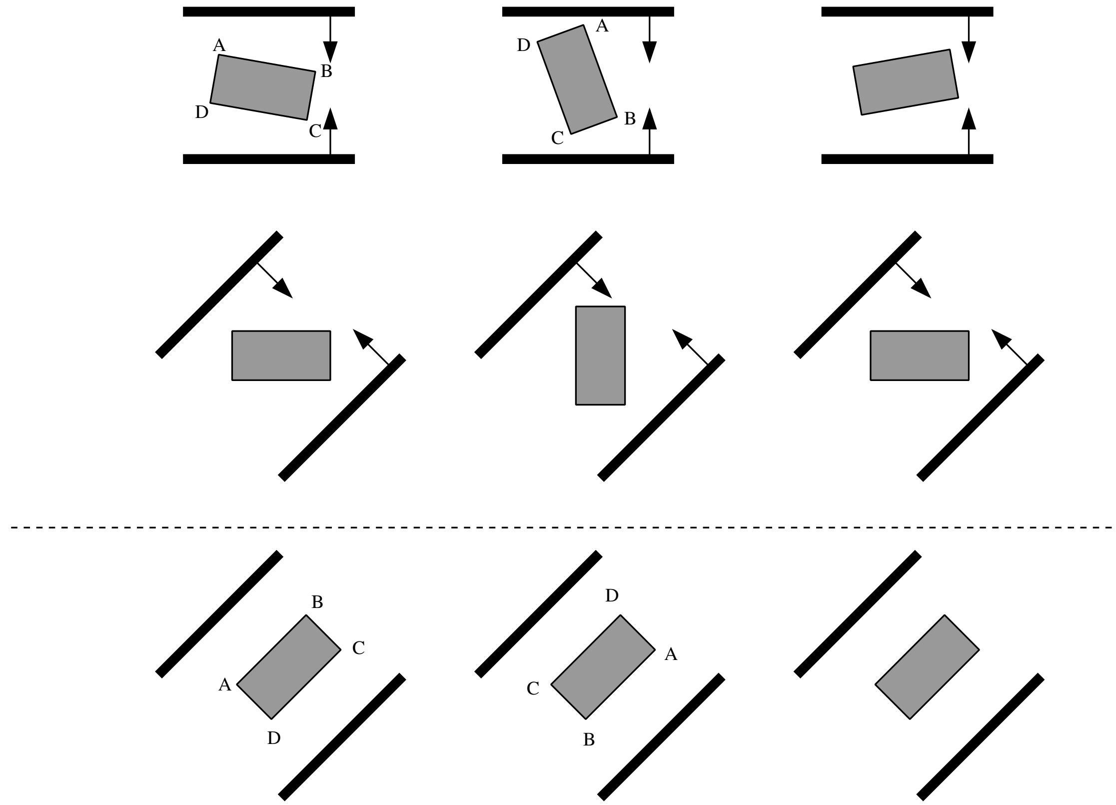
Beispiel!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Bringt Werkstück in gleiche Endlage
- Unabhängig von Ausgangslage



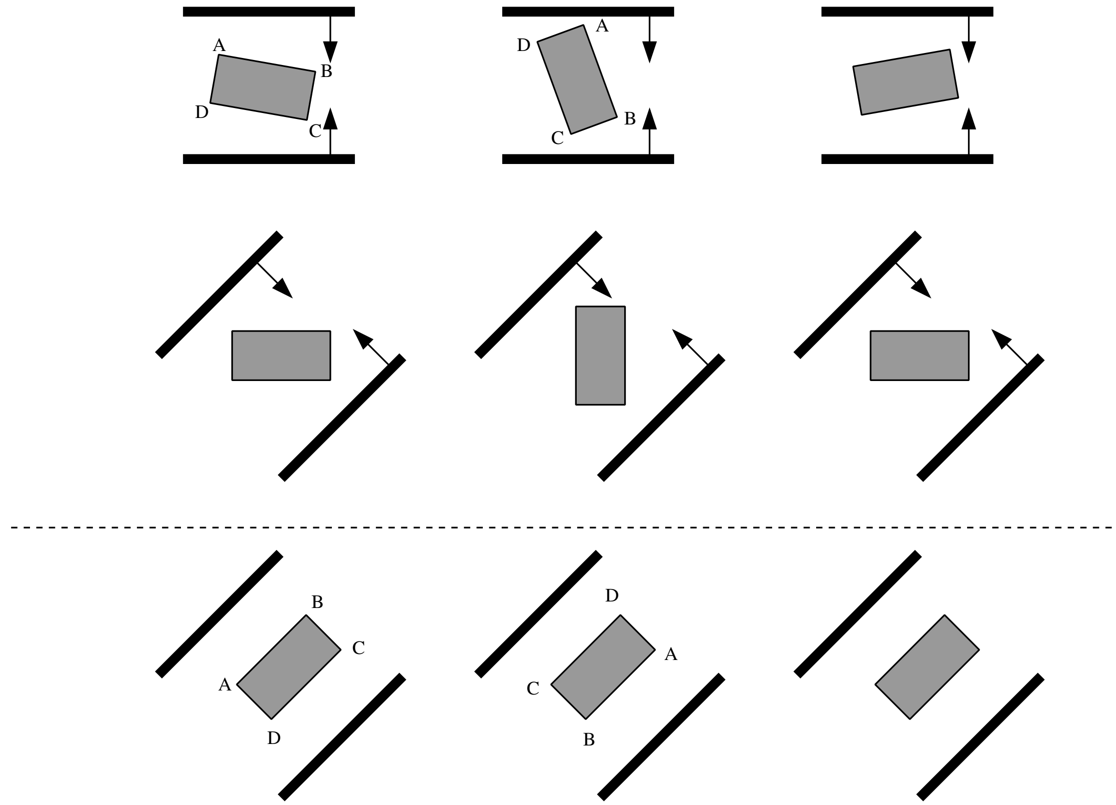
Beispiel!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Bringt Werkstück in gleiche Endlage
- Unabhängig von Ausgangslage
- Bis auf Symmetrie!

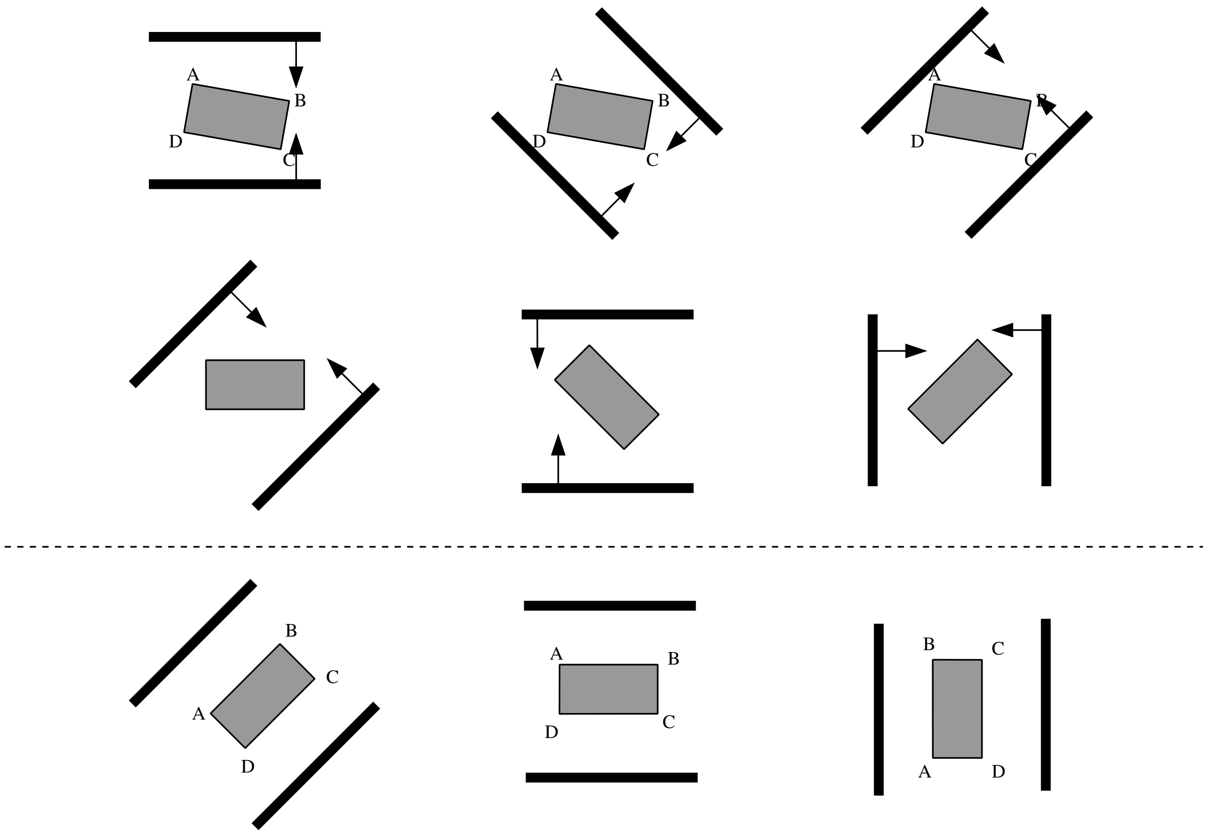


Beispiel!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Bringt Werkstück in gleiche Endlage
- Unabhängig von Ausgangslage
- Bis auf Symmetrie!
- Jede Endlage möglich

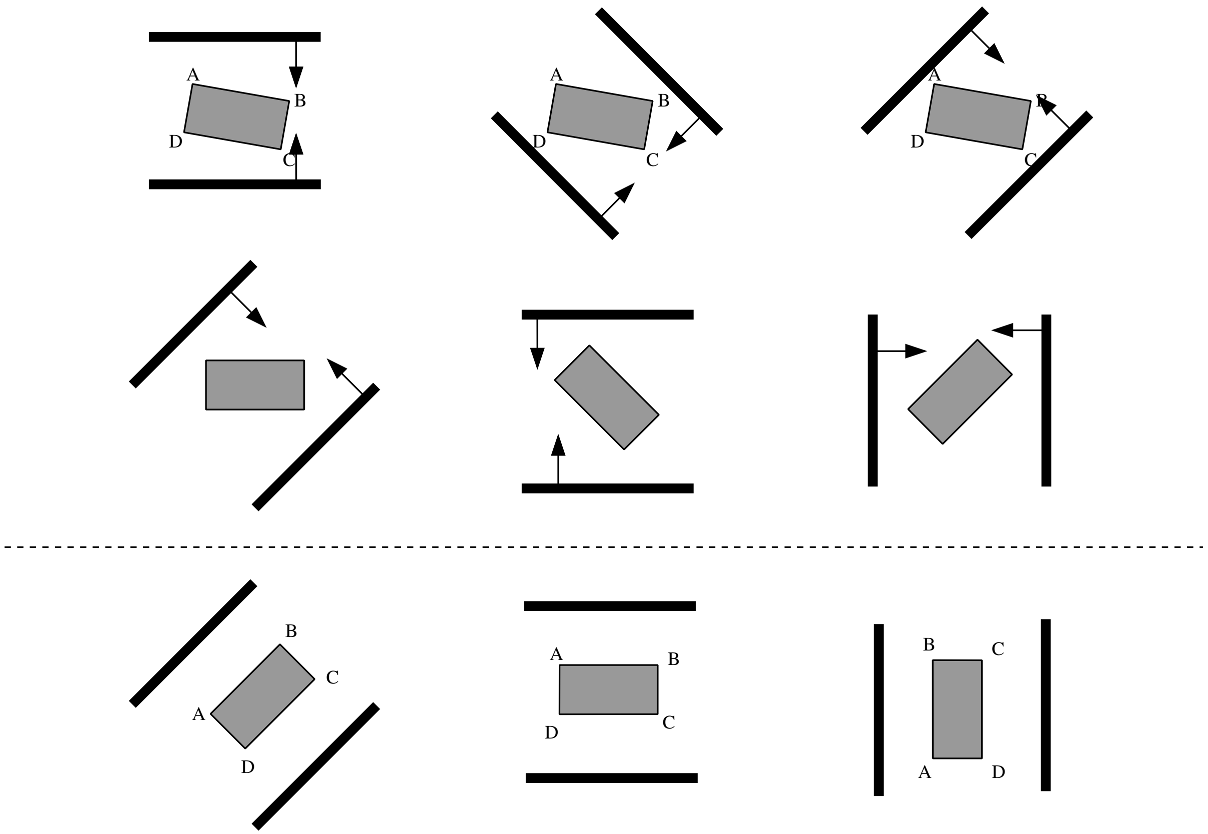


Verschiedenen Endlagen!



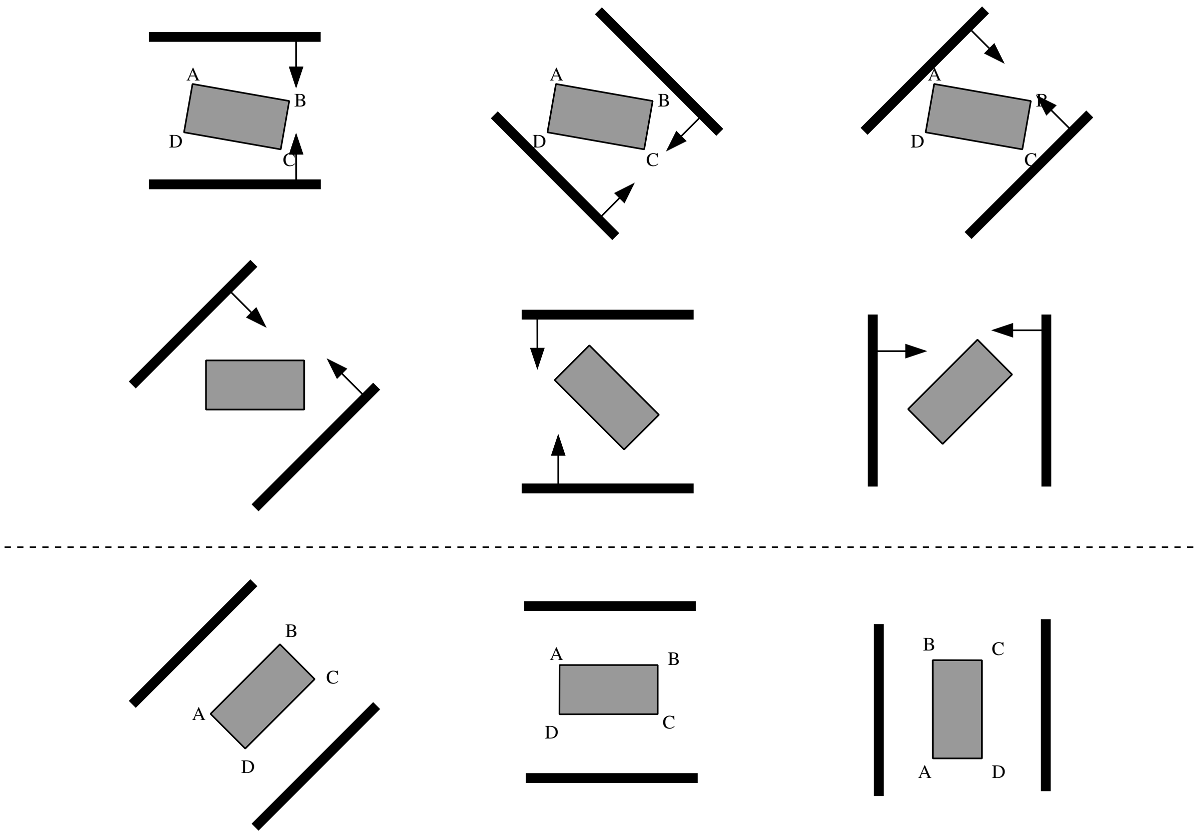
Verschiedenen Endlagen!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$



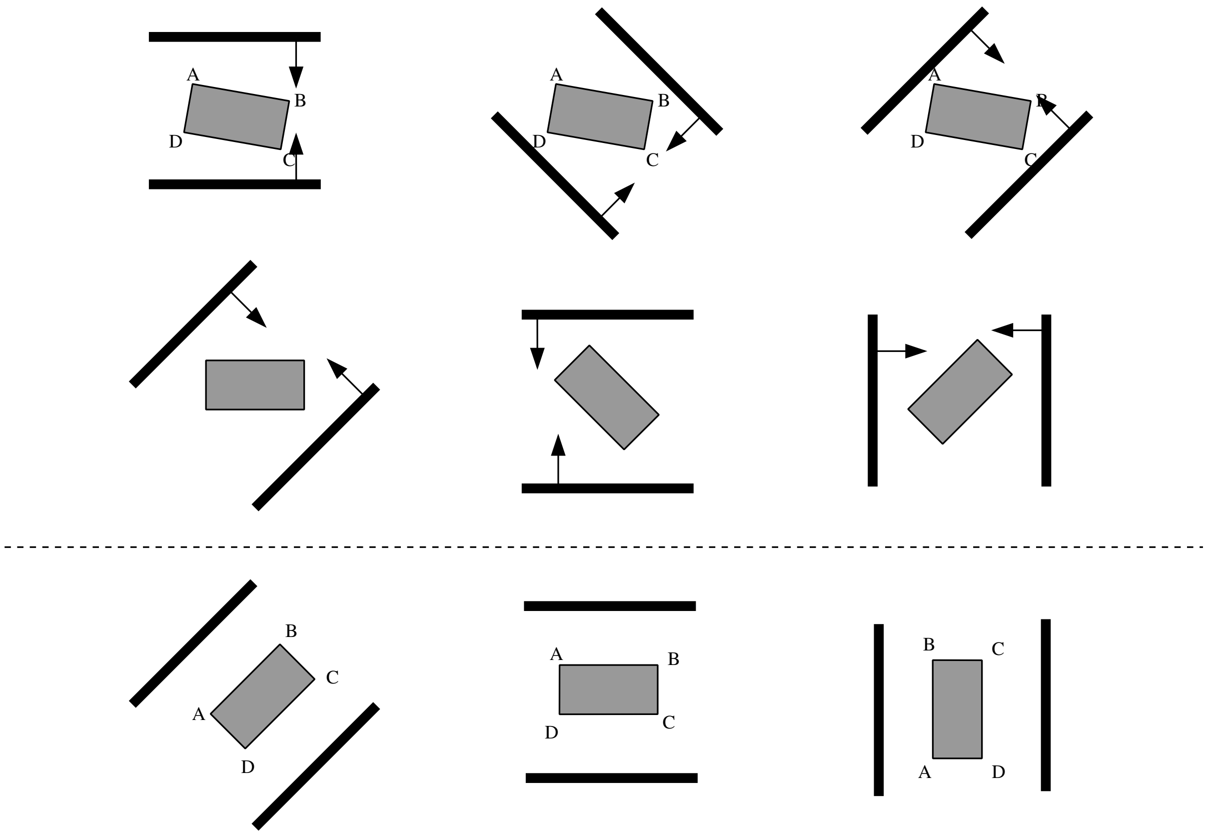
Verschiedenen Endlagen!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Plan $(-\frac{\pi}{4}, 0)$



Verschiedenen Endlagen!

- Plan $(0, \frac{\pi}{4})$
- Plan $(-\frac{\pi}{4}, 0)$
- Plan $(+\frac{\pi}{4}, \frac{\pi}{2})$



Nützliche Annahmen

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen
3. Werkstück: Festes planares konvexes Polygon

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen
3. Werkstück: Festes planares konvexes Polygon
4. Isoliert zwischen den Backen

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen
3. Werkstück: Festes planares konvexes Polygon
4. Isoliert zwischen den Backen
5. Zunächst: Backen treffen gleichzeitig auf!(Später aufheben!)

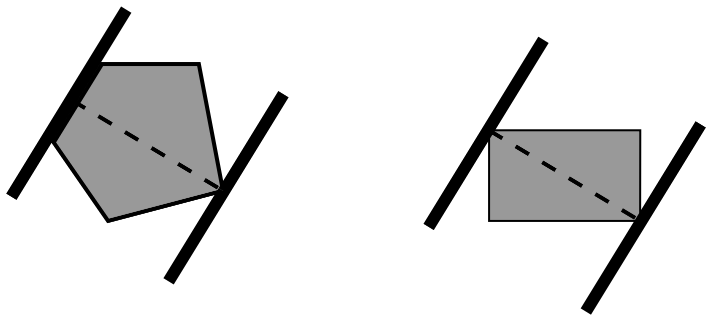
Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen
3. Werkstück: Festes planares konvexes Polygon
4. Isoliert zwischen den Backen
5. Zunächst: Backen treffen gleichzeitig auf!(Später aufheben!)
6. Kontakt bleibt erhalten, kein Wegrutschen!

Nützliche Annahmen

1. Greifer: Parallele Backen
2. Drehrichtung: Orthogonal zu Backen
3. Werkstück: Festes planares konvexes Polygon
4. Isoliert zwischen den Backen
5. Zunächst: Backen treffen gleichzeitig auf!(Später aufheben!)
6. Kontakt bleibt erhalten, kein Wegrutschen!
7. Keine Reibung! Kein Einklemmen!(Später aufheben!)

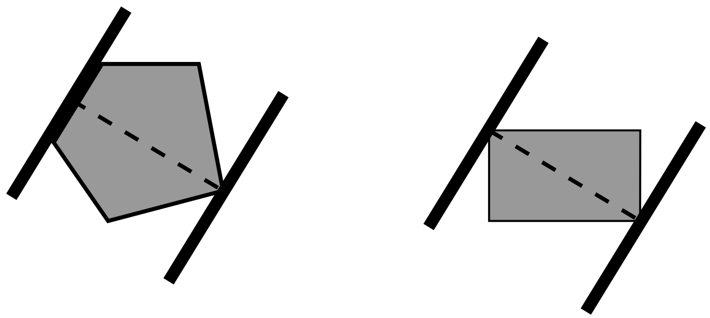
Einklemmen!



Stabil! Instabil!

Einklemmen!

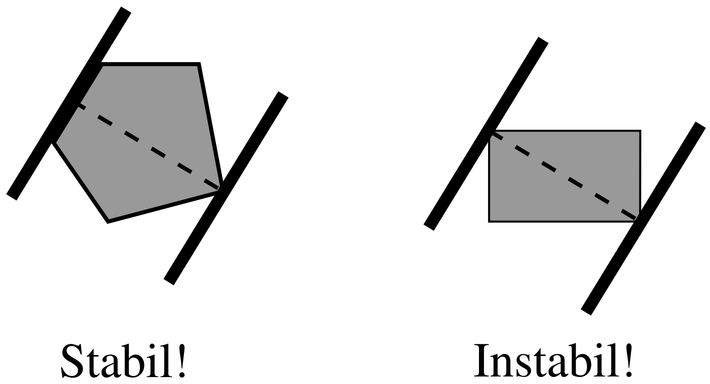
- Stabile Lage: **Stabiles Gleichgewicht**



Stabil! Instabil!

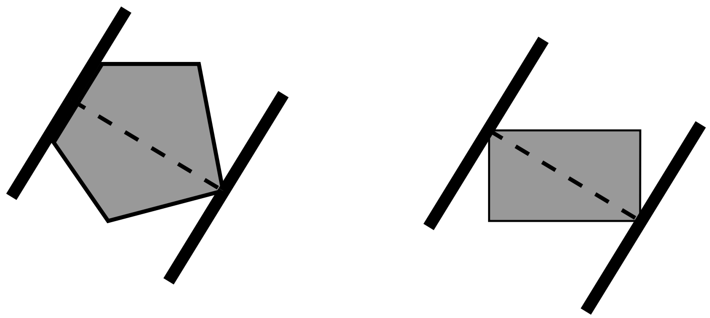
Einklemmen!

- Stabile Lage: **Stabiles Gleichgewicht**
- **Instabiles Gleichgewicht**



Einklemmen!

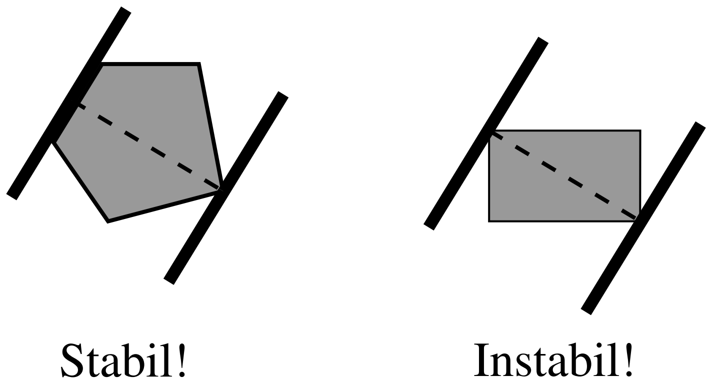
- Stabile Lage: **Stabiles Gleichgewicht**
- **Instabiles Gleichgewicht**
- Kommt praktisch nicht vor



Stabil! Instabil!

Einklemmen!

- Stabile Lage: **Stabiles Gleichgewicht**
- **Instabiles Gleichgewicht**
- Kommt praktisch nicht vor
- Abhilfe: Fehlertoleranz bei der Bewegung!



Funktionen: Definition 4.1 (i)!

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\texttt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \texttt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

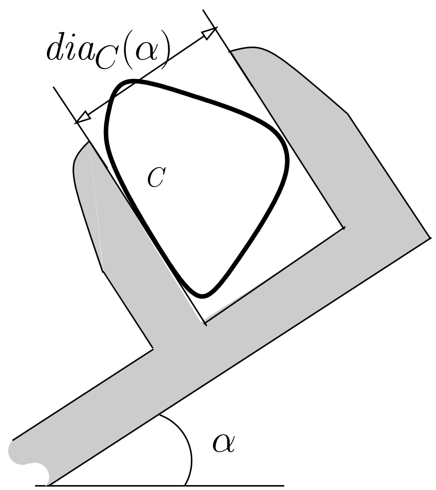
- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

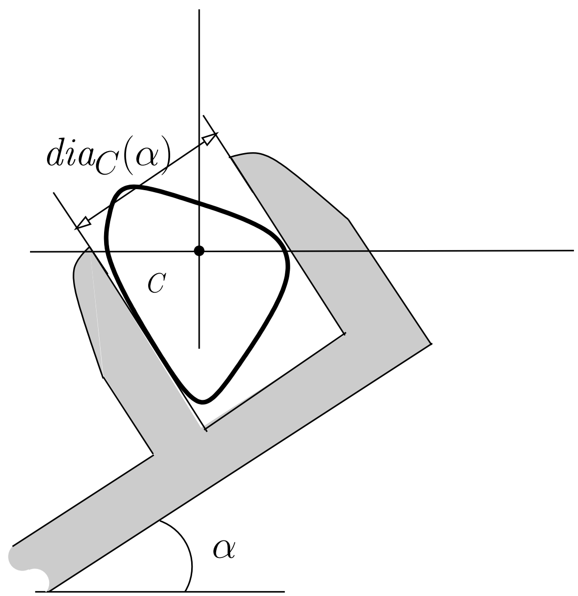
- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π



(i)

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

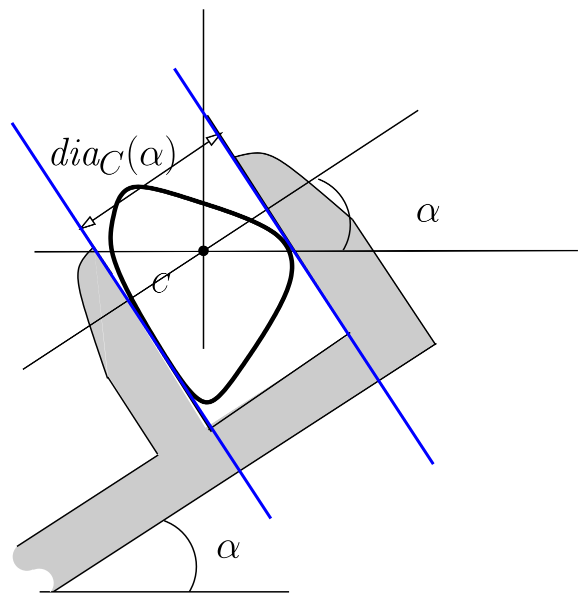
- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π



(i)

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

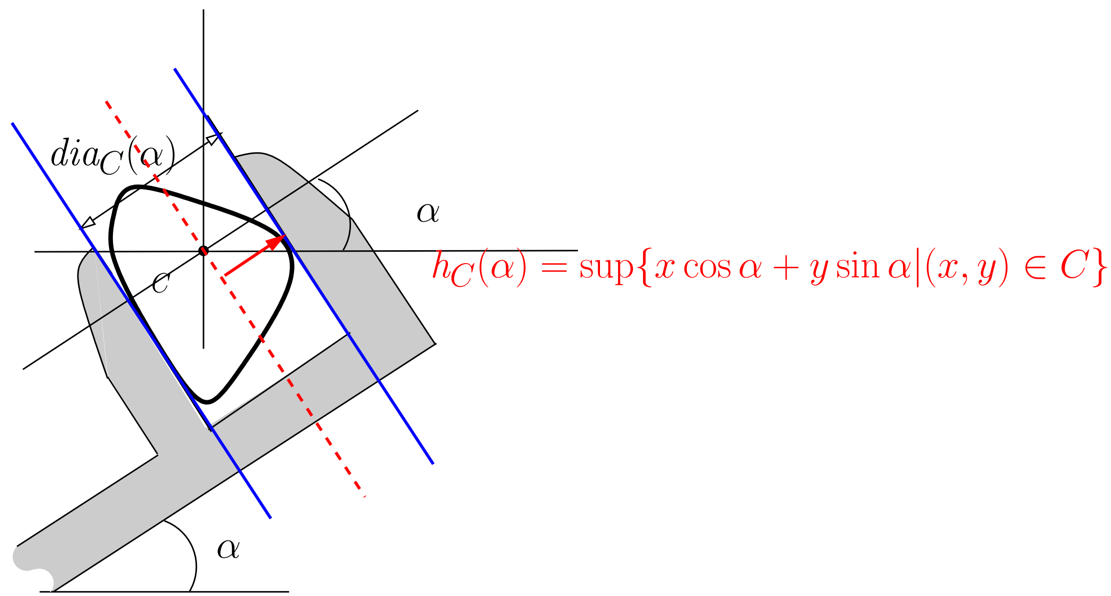
- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\texttt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π



(i)

Funktionen: Definition 4.1 (i)!

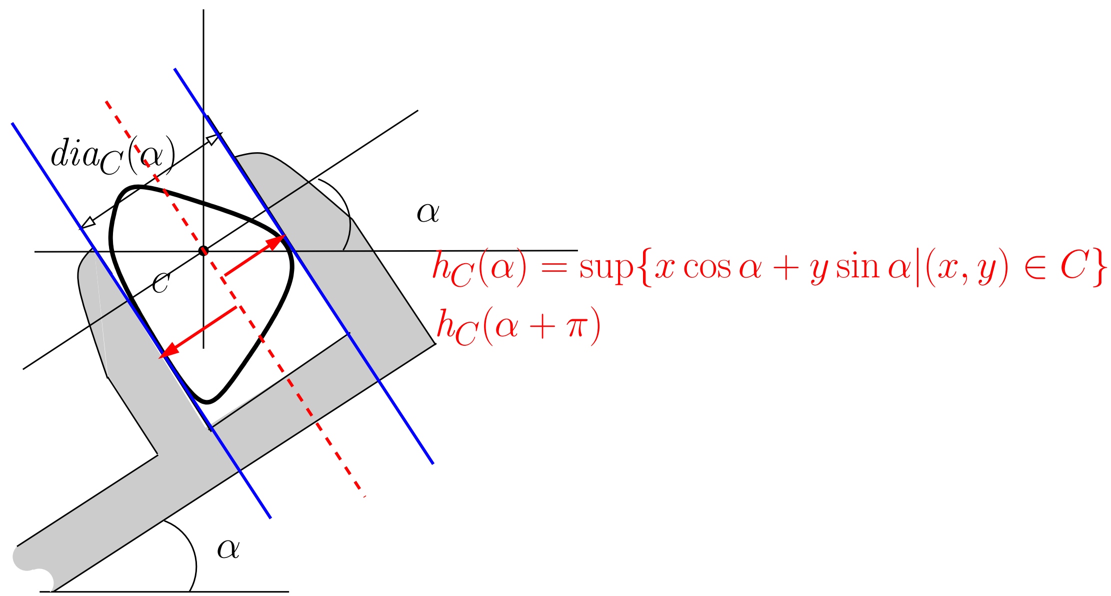
- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π



(i)

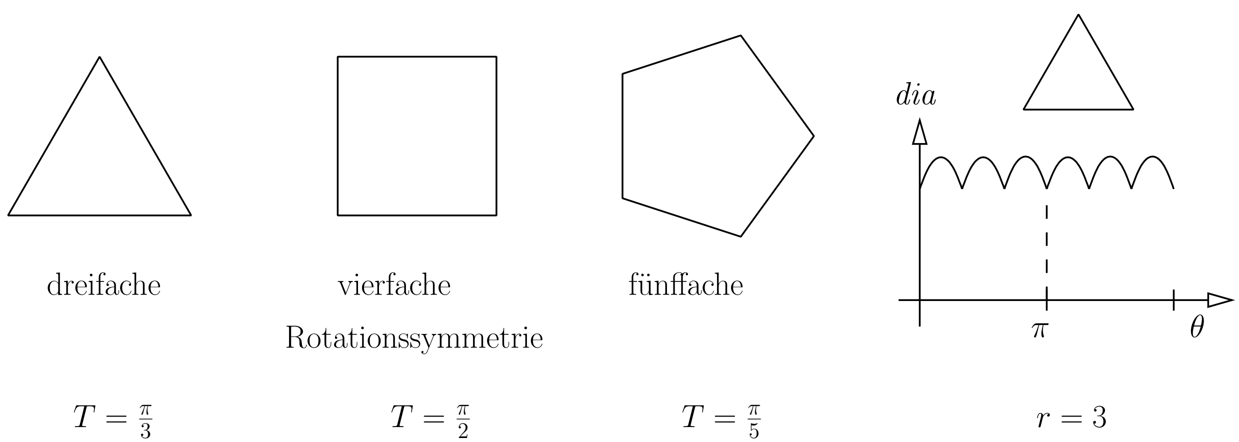
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Werkstück liegt fest
- Diameter: $\mathtt{dia} : [0, 2\pi) \longrightarrow \mathtt{R}$
- Rotation der Backen um Winkel
- Schließen und Abstand
- Symmetrisch ab π



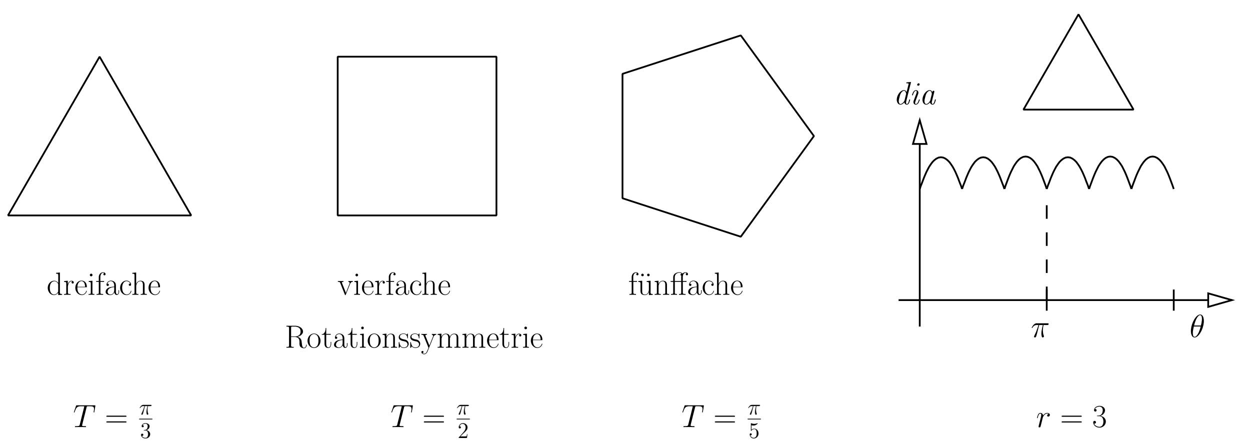
(i)

Funktionen: Definition 4.1 (i)!



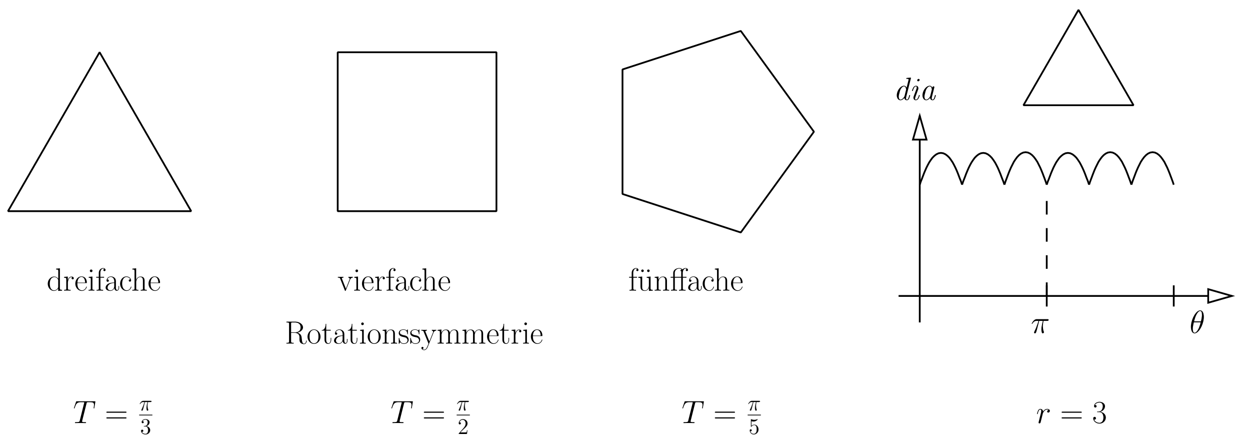
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Stabiles Gleichgewicht in lokalen Minima



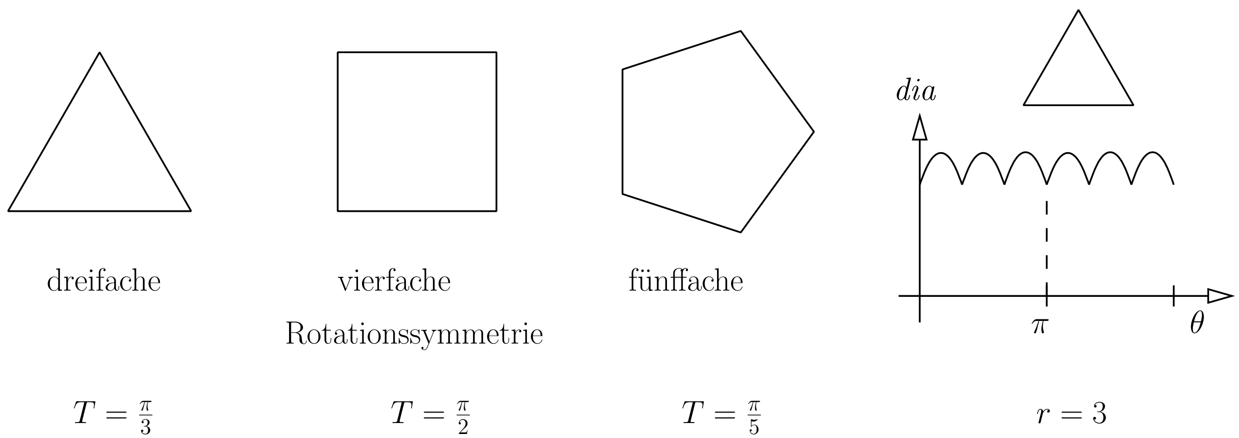
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Stabiles Gleichgewicht in lokalen Minima
- Rotationssymmetrie der konvexen Hülle: Beispiele



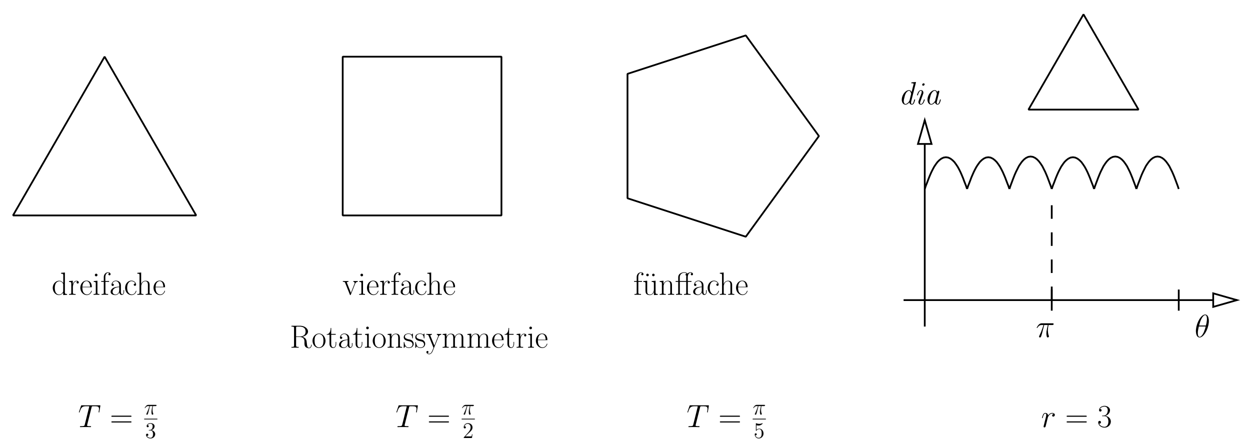
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Stabiles Gleichgewicht in lokalen Minima
- Rotationssymmetrie der konvexen Hülle: Beispiele
- r-fache Rotationssymmetrie



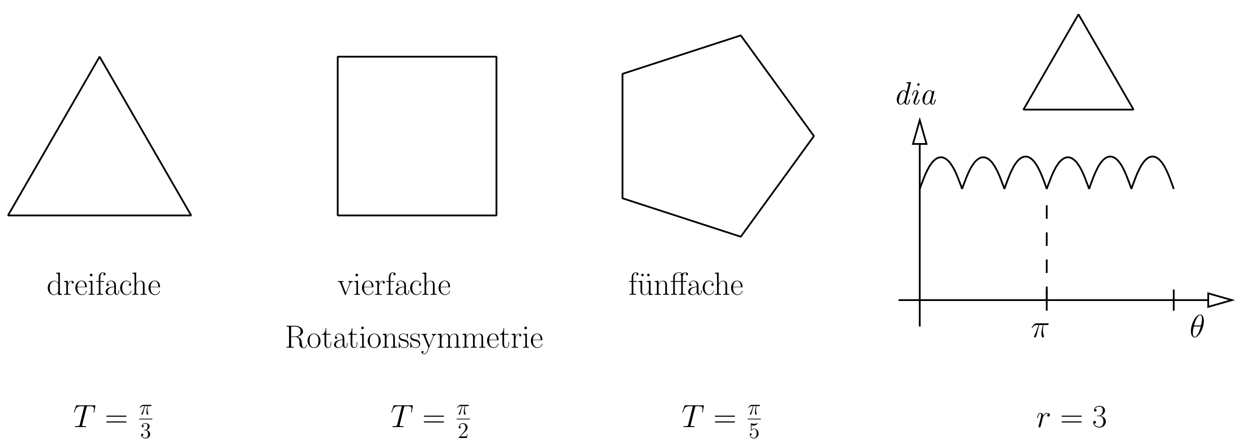
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

- Stabiles Gleichgewicht in lokalen Minima
- Rotationssymmetrie der konvexen Hülle: Beispiele
- r-fache Rotationssymmetrie
- Weitere Symmetrie in der Diameter Funktion

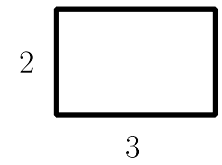


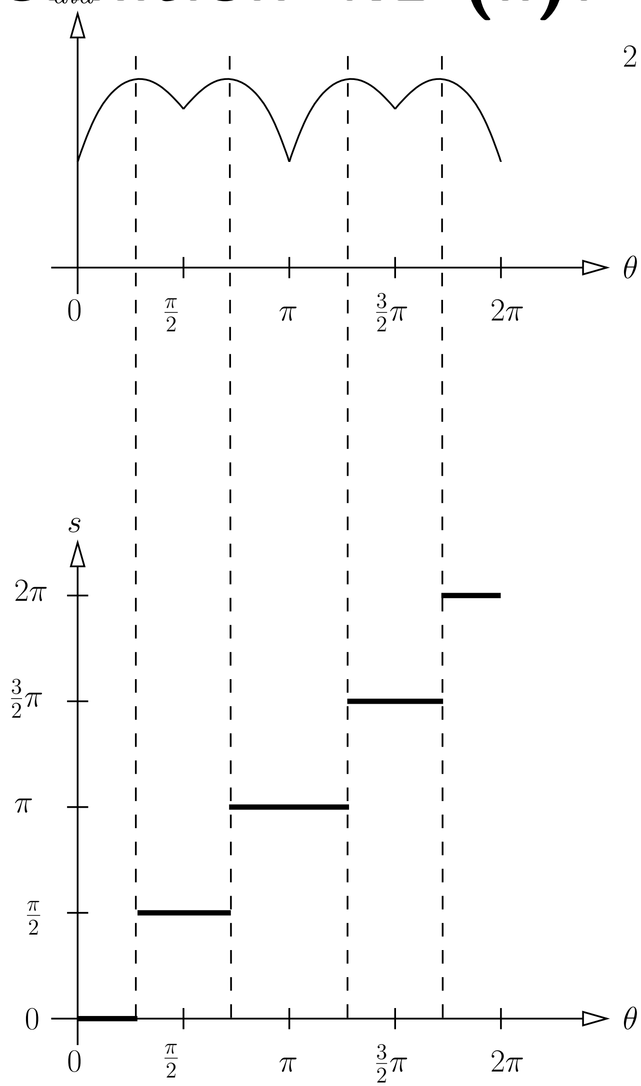
Funktionen: Definition 4.1 (i)!

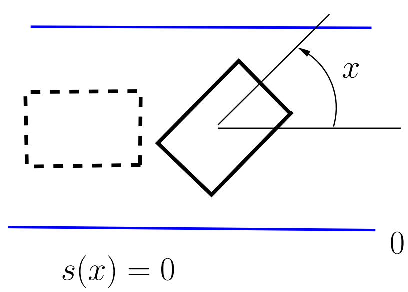
- Stabiles Gleichgewicht in lokalen Minima
- Rotationssymmetrie der konvexen Hülle: Beispiele
- r-fache Rotationssymmetrie
- Weitere Symmetrie in der Diameter Funktion
- Periode T



Funktionen: Definition 4.1 (ii)!



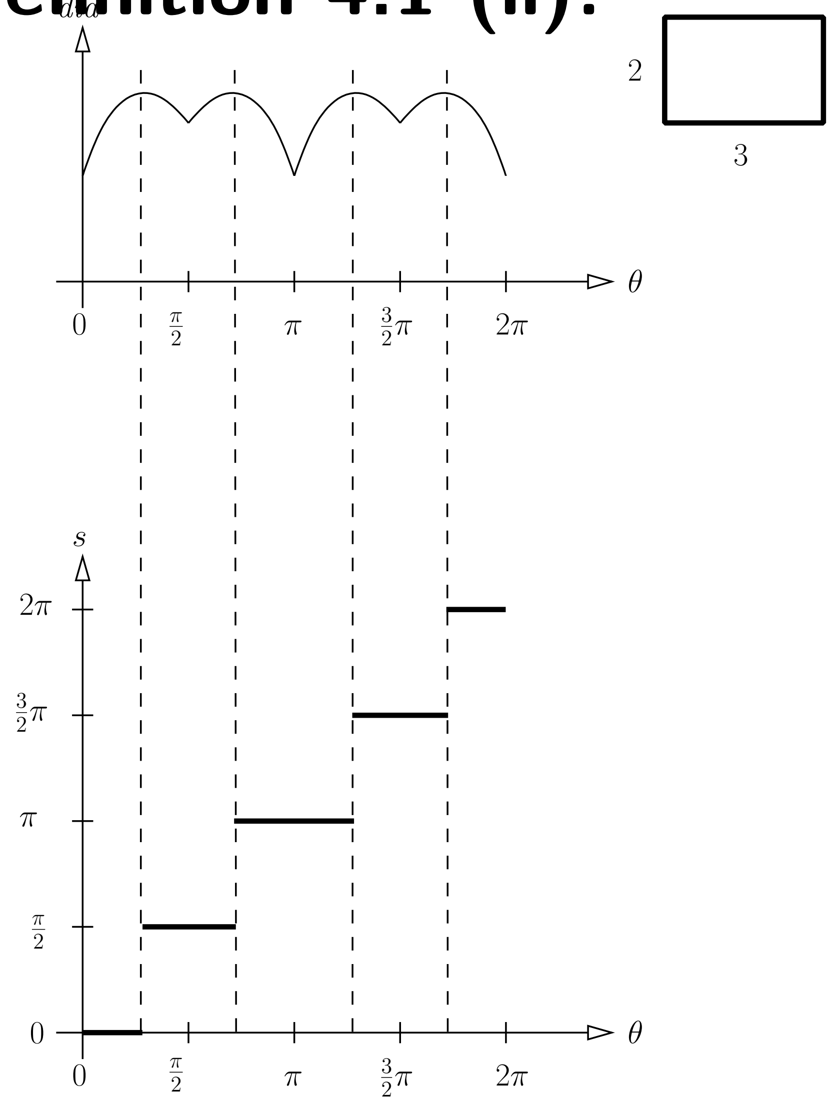


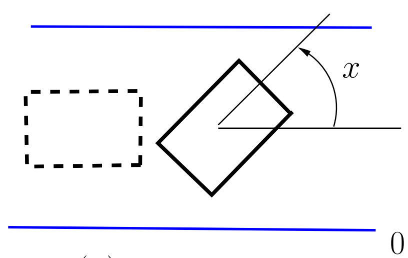


Funktionen: Definition 4.1 (ii)!

- Greiffunktion:

  $s : [0, 2\pi) \longrightarrow [0, 2\pi)$

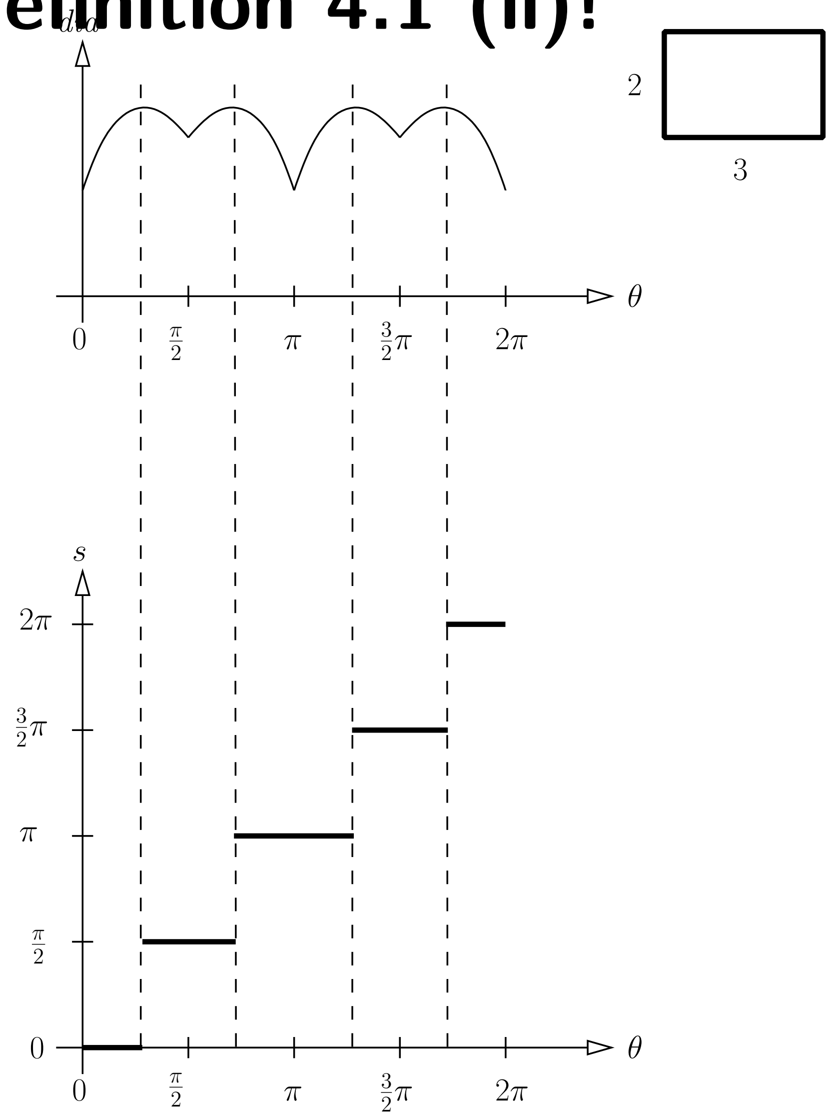


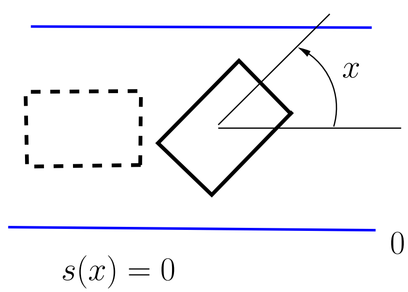


$s(x) = 0$

Funktionen: Definition 4.1 (ii)!

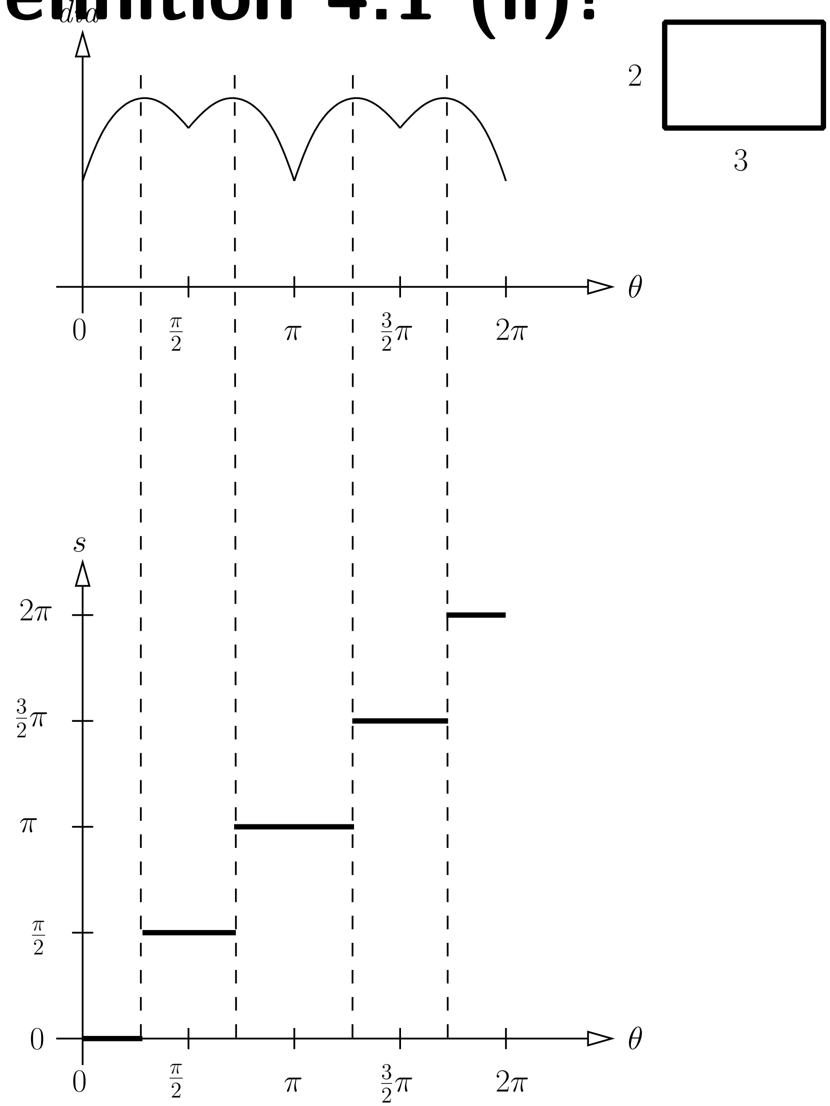
- Greiffunktion:
  $s : [0, 2\pi) \longrightarrow [0, 2\pi)$
- x Orient. bezüglich Greifer

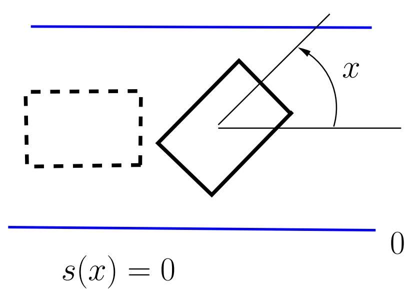




Funktionen: Definition 4.1 (ii)!

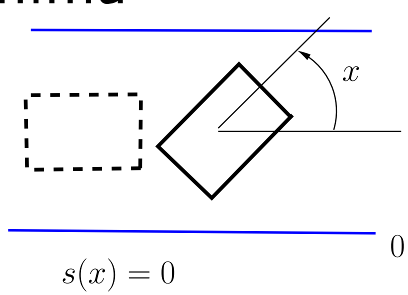
- Greiffunktion:
  $s : [0, 2\pi) \longrightarrow [0, 2\pi)$
- x Orient. bezüglich Greifer
- $s(x)$ Orient. nach dem Greifen

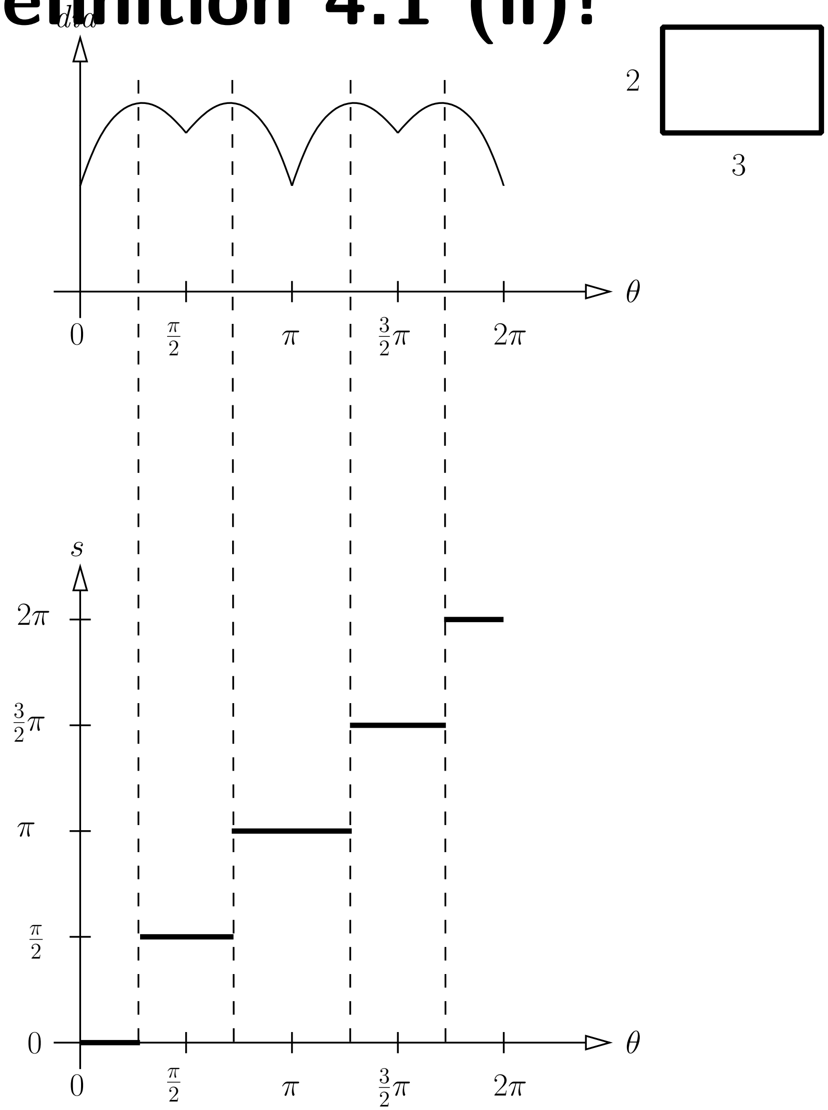




Funktionen: Definition 4.1 (ii)!

- Greiffunktion:
  $s : [0, 2\pi) \longrightarrow [0, 2\pi)$
- x Orient. bezüglich Greifer
- $s(x)$ Orient. nach dem Greifen
- Treppenfunktion: Zwischen Maxima auf Minima





Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen

Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

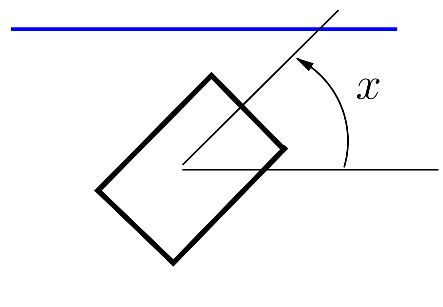
- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$

Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$

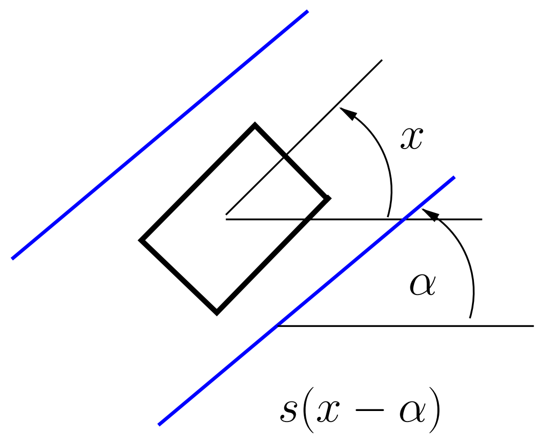
Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



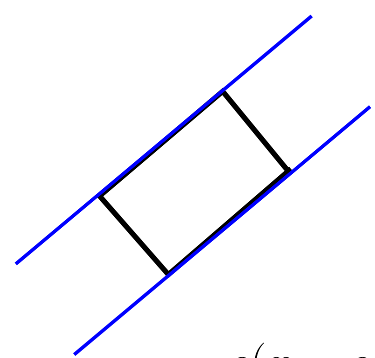
Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

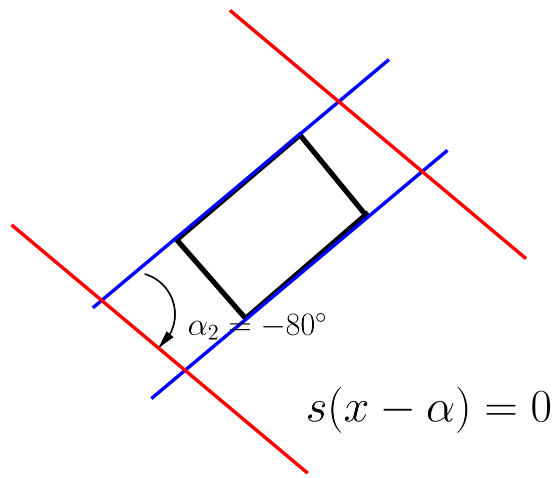
- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2)\ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



$s(x - \alpha) = 0$

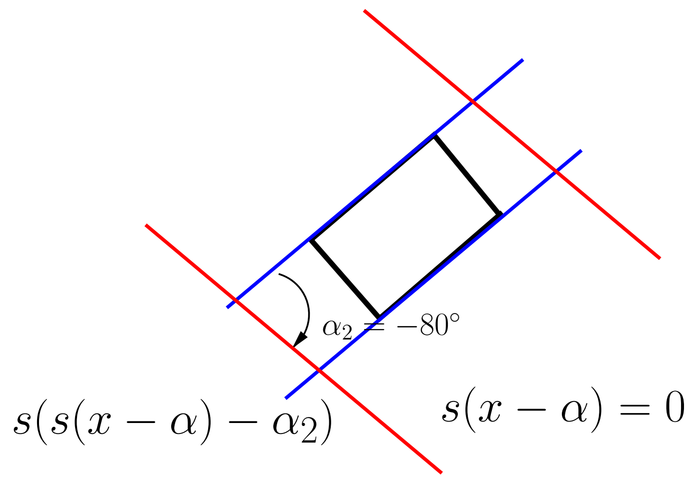
Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



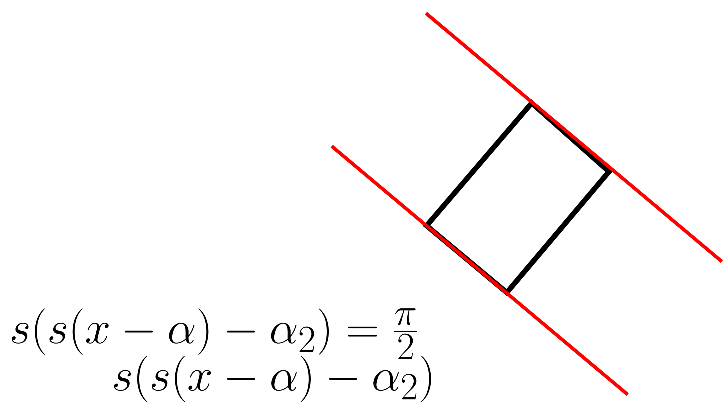
Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



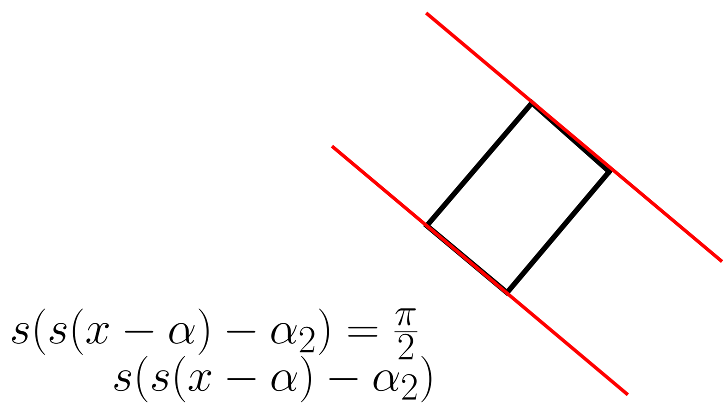
Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!



Funktionen: Definition 4.1 (iii)!

- Sequenz von Greifoperationen
- $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- Beispiel: $y := s(x - \alpha)$, $s(y - \alpha_2)$ bezüglich Greifer!!

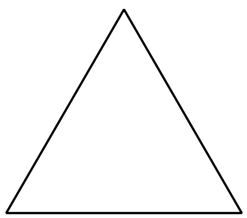


Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3!

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3!

i) Für Polygone mit r–facher Rotationssymmetrie ist die Greiffunktion T–periodisch mit $T = \frac{2\pi}{r(1+(r \bmod 2))}$.

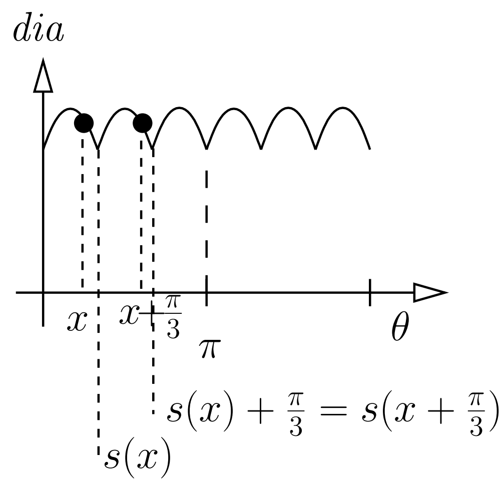
ii) Für eine T–periodische Greiffunktion s gilt:
$S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.



dreifache

$T = \frac{\pi}{3}$

$r = 3$



Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) =$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) =$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) =$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) + T$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x+T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) + T$
- Induktiv: $\beta_i = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) + T$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) + T$
- Induktiv: $\beta_i = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) + T$
- $\beta_{i+1} = s(s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) - \alpha_{i+1} + T) =$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) + T$
- Induktiv: $\beta_i = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) + T$
- $\beta_{i+1} = s(s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) - \alpha_{i+1} + T) =$
  $s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) - \alpha_{i+1}) + T$

Periodizität Greiffunktion: Lemma 4.3 (ii)

Für T–periodische Greiffunktion s gilt: $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T$.

- $s(x + T) = s(x) + T$ nach Def. Periode
- θ Startposition bezügl. Greifer, $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1 + T) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k)$
- $\beta_1 := s((\theta - \alpha_1) + T) = s(\theta - \alpha_1) + T$
- $\beta_2 := s(\beta_1 - \alpha_2) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2 + T) = s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) + T$
- Induktiv: $\beta_i = s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) + T$
- $\beta_{i+1} = s(s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) - \alpha_{i+1} + T) =$
  $s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_i) - \alpha_{i+1}) + T$
- $S(\mathcal{A}, \theta + T) = S(\mathcal{A}, \theta) + T!$

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k) = \gamma(\theta)$.

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k) = \gamma(\theta)$.
- $\mathcal{A}$ orientiert konvexe Hülle von W **bis auf Symmetrie**, falls in der Menge der möglichen letzten Orientierungen $S(\mathcal{A}, \theta)$ genau $\frac{2\pi}{T}$ Orientierungen sind, die gleichverteilt auf $[0, 2\pi)$ liegen.

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k) = \gamma(\theta)$.
- $\mathcal{A}$ orientiert konvexe Hülle von W **bis auf Symmetrie**, falls in der Menge der möglichen letzten Orientierungen $S(\mathcal{A}, \theta)$ genau $\frac{2\pi}{T}$ Orientierungen sind, die gleichverteilt auf $[0, 2\pi)$ liegen.
- $t := \frac{2\pi}{T}$,

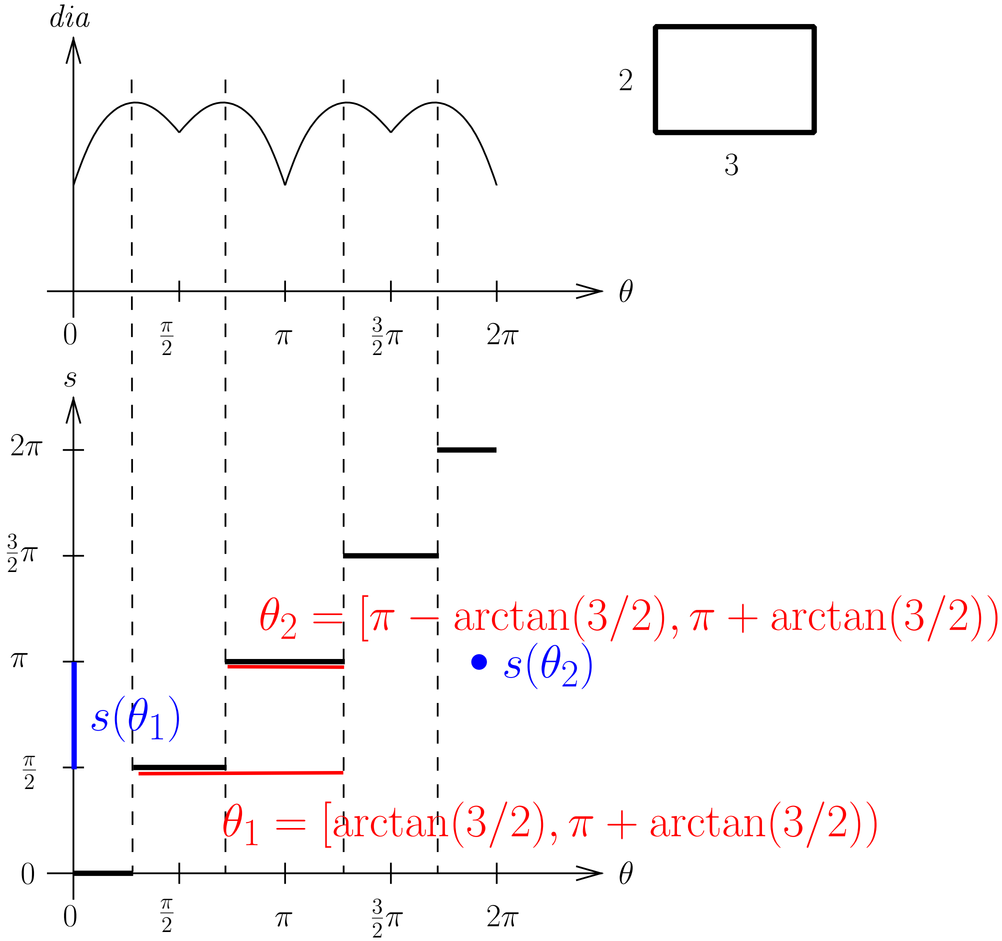
Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k) = \gamma(\theta)$.
- $\mathcal{A}$ orientiert konvexe Hülle von W **bis auf Symmetrie**, falls in der Menge der möglichen letzten Orientierungen $S(\mathcal{A}, \theta)$ genau $\frac{2\pi}{T}$ Orientierungen sind, die gleichverteilt auf $[0, 2\pi)$ liegen.
- $t := \frac{2\pi}{T}$, $\gamma([0, 2\pi)) = \{o_1, o_2, \ldots, o_t\}$,

Formulierung der Aufgabe: Definition 4.4!

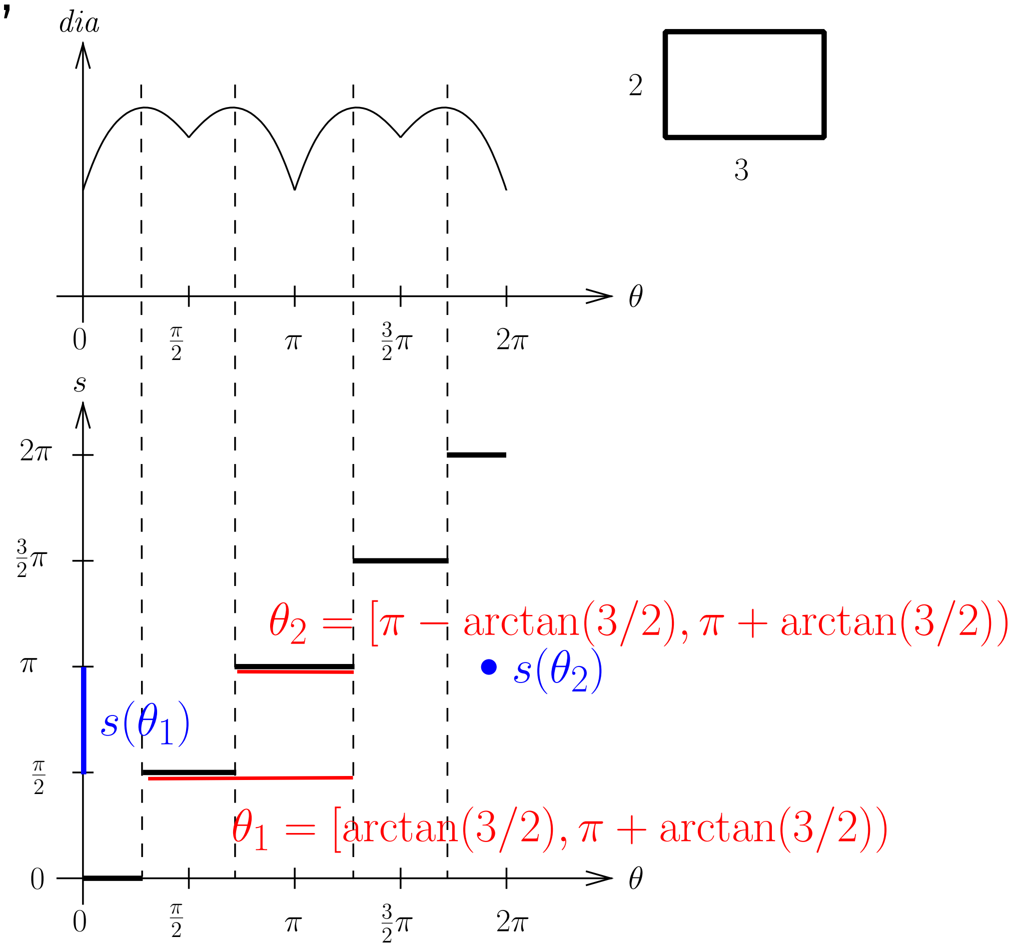
- Werkstück W, Plan $\mathcal{A} = (\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_{k-1}, \alpha_k)$
- T die kleinste Periode der zu W gehörenden Greiffunktion s
- θ beliebige Ausgangsrichtung bezüglich Greifer
- $S(\mathcal{A}, \theta) := s(s(\ldots s(s(s(\theta - \alpha_1) - \alpha_2) \ldots) - \alpha_{k-1}) - \alpha_k) = \gamma(\theta)$.
- $\mathcal{A}$ orientiert konvexe Hülle von W **bis auf Symmetrie**, falls in der Menge der möglichen letzten Orientierungen $S(\mathcal{A}, \theta)$ genau $\frac{2\pi}{T}$ Orientierungen sind, die gleichverteilt auf $[0, 2\pi)$ liegen.
- $t := \frac{2\pi}{T}$, $\gamma([0, 2\pi)) = \{o_1, o_2, \ldots, o_t\}$,$o_i := o_{i+1} + T$

Bezeichnungen!



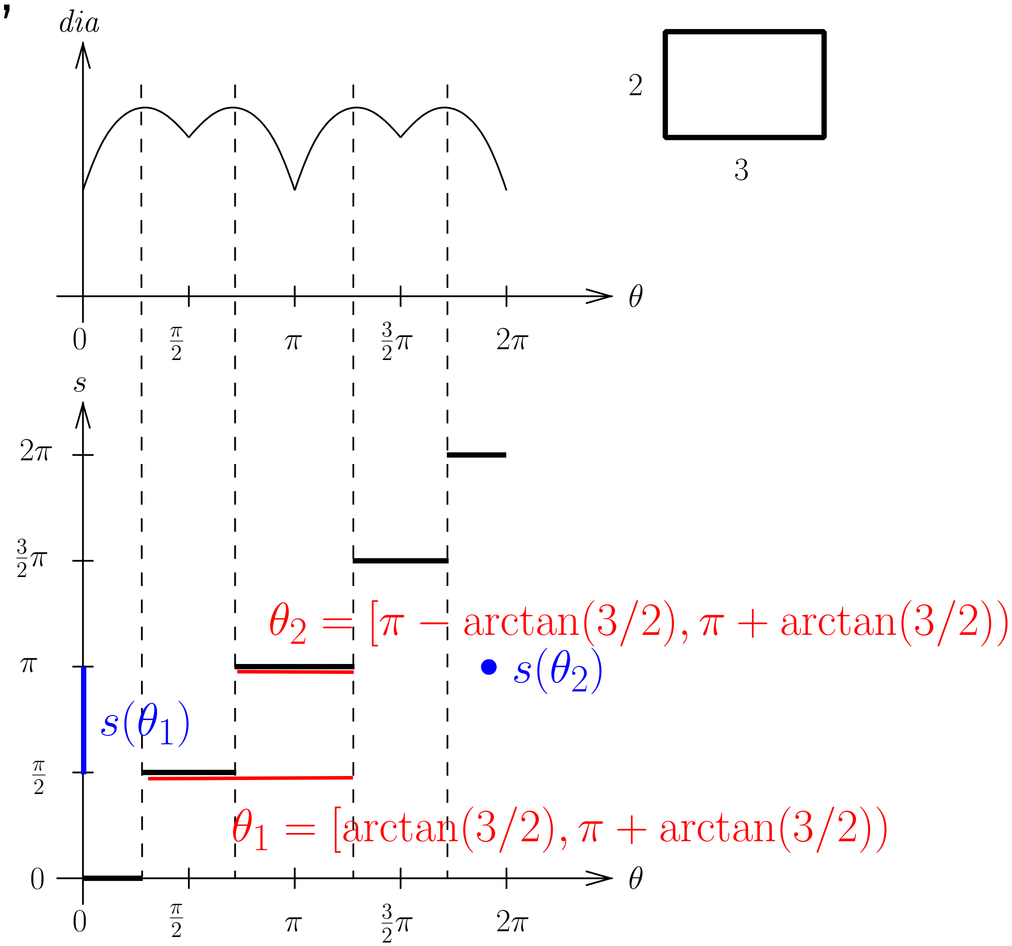
Bezeichnungen!

- **Intervall** Θ, zusammenhängende Teilmenge von $[0, 2\pi)$



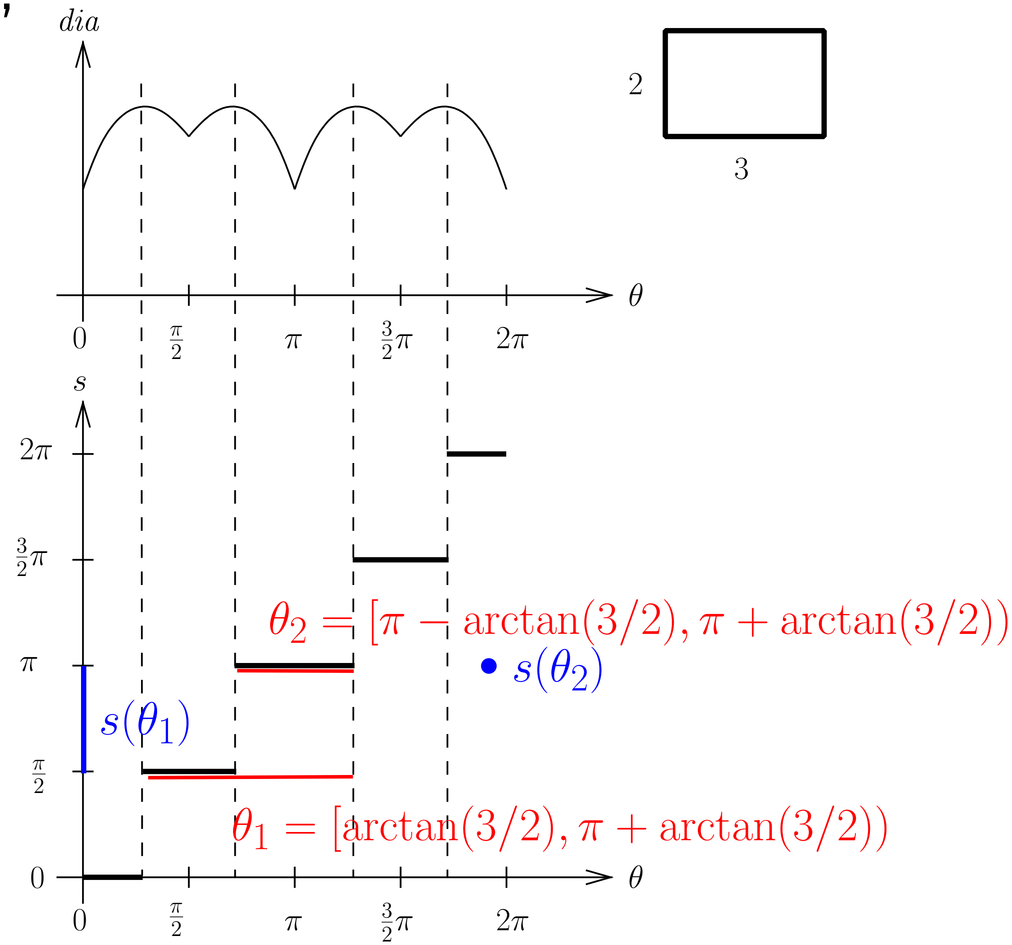
Bezeichnungen!

- **Intervall** Θ, zusammenhängende Teilmenge von $[0, 2\pi)$
- $|\Theta|$: Länge des Intervalls



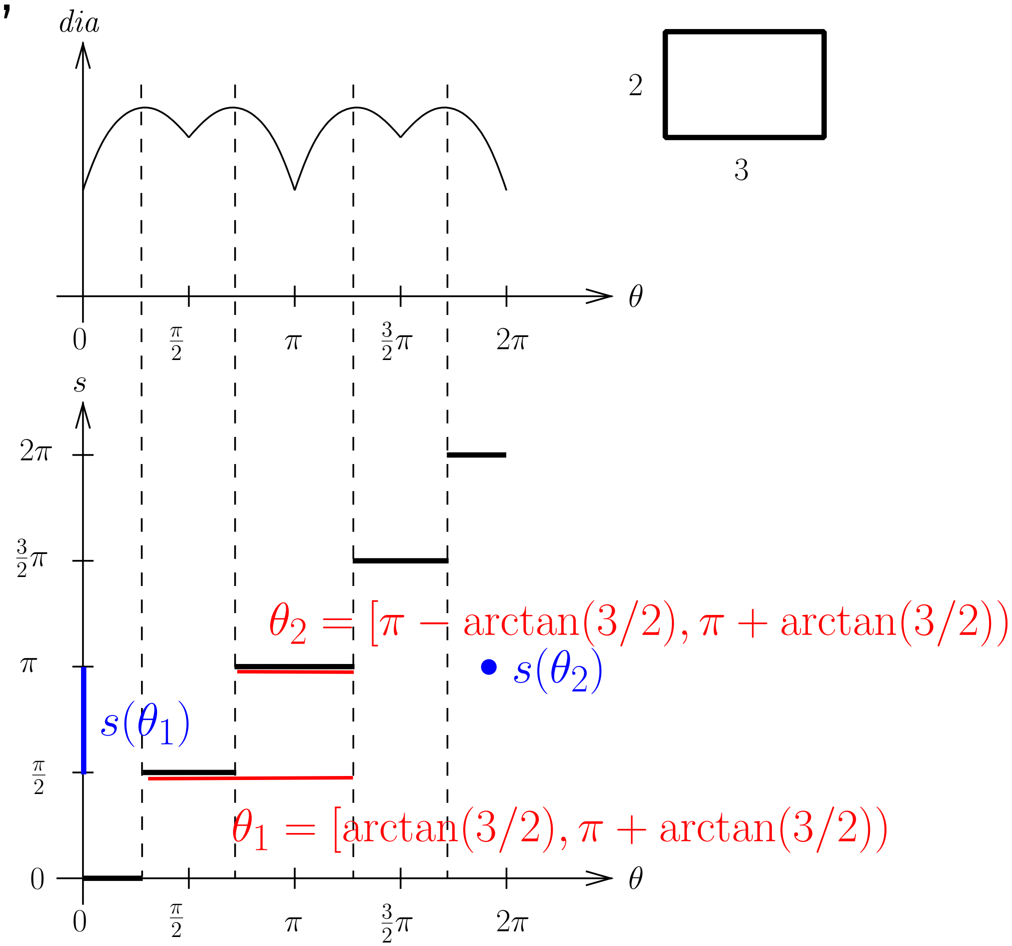
Bezeichnungen!

- **Intervall** Θ, zusammenhängende Teilmenge von $[0, 2\pi)$
- $|\Theta|$: Länge des Intervalls
- **s–Intervall**, halboffenes Intervall $[\xi_i, \nu_i)$, wobei ξ_i und ν_i Unstetigkeitsstellen der Greiffunktion sind

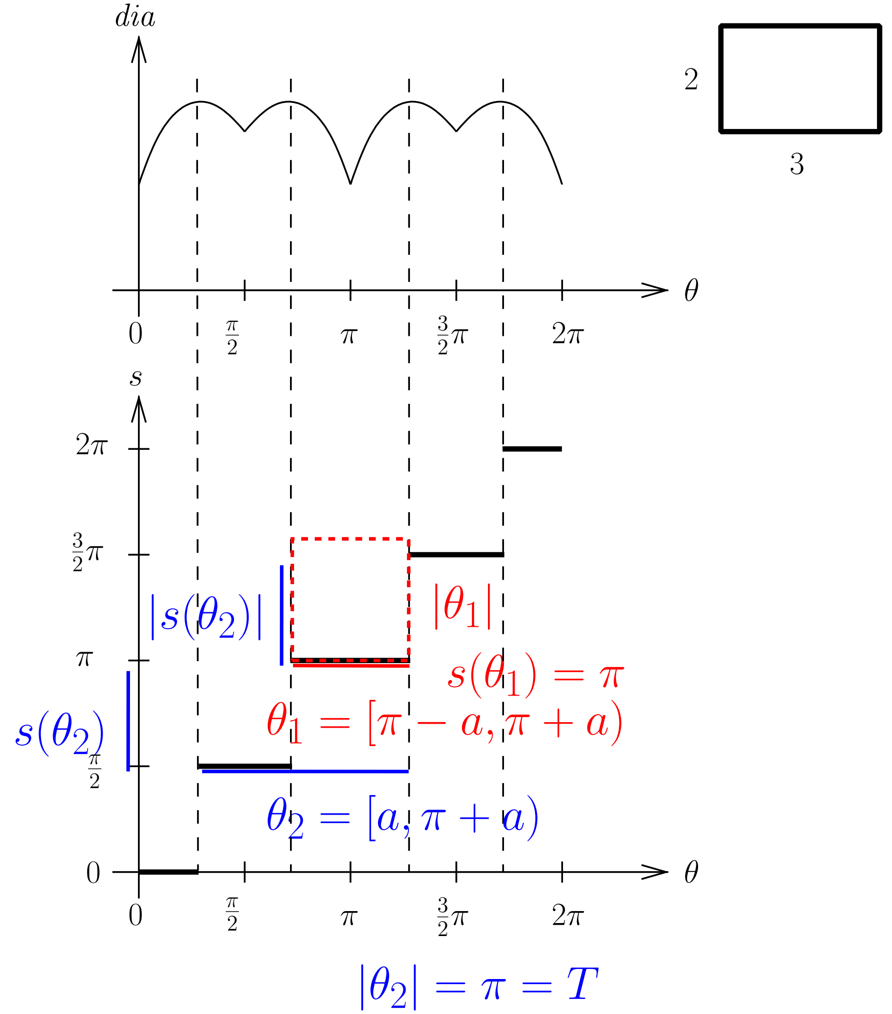


Bezeichnungen!

- **Intervall** Θ, zusammenhängende Teilmenge von $[0, 2\pi)$
- $|\Theta|$: Länge des Intervalls
- **s–Intervall**, halboffenes Intervall $[\xi_i, \nu_i)$, wobei ξ_i und ν_i Unstetigkeitsstellen der Greiffunktion sind
- Zu s–Intervall Θ sei das **s–Image** $s(\Theta)$ das kleinste Intervall, das die Menge $\{ s(\theta) \text{ mit } \theta \in \Theta \}$ enthält

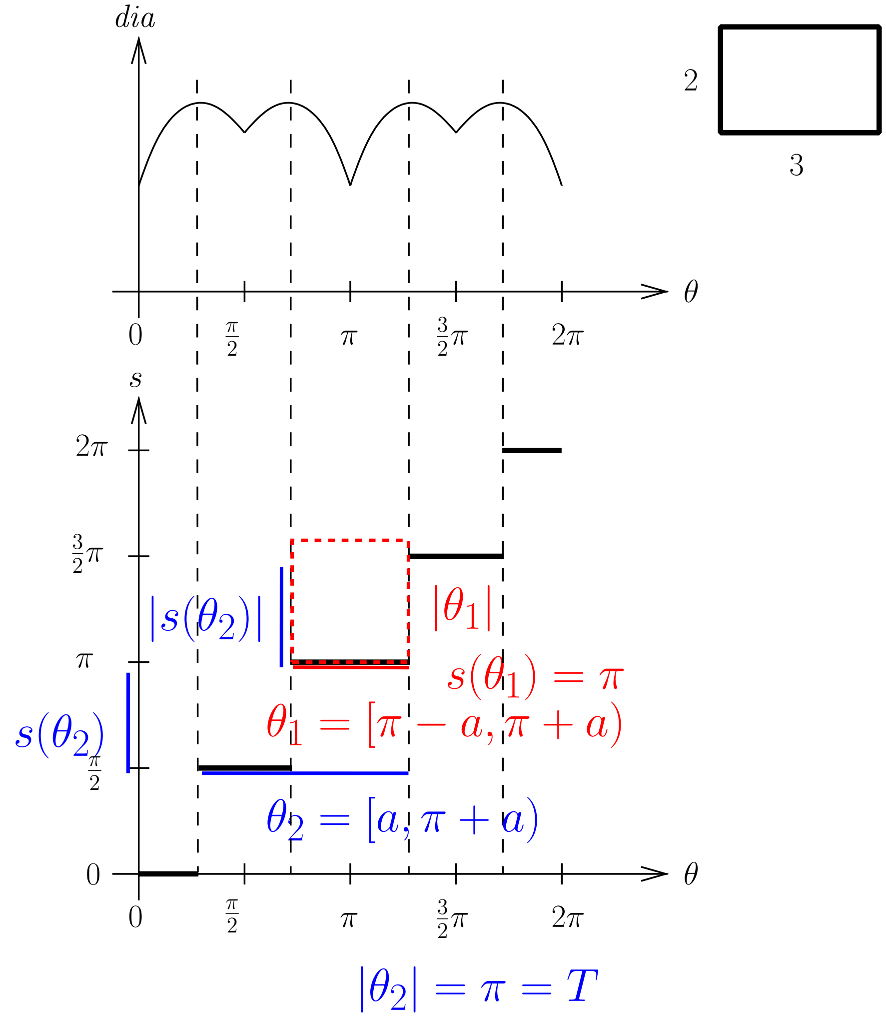


Beispiel Alg.!



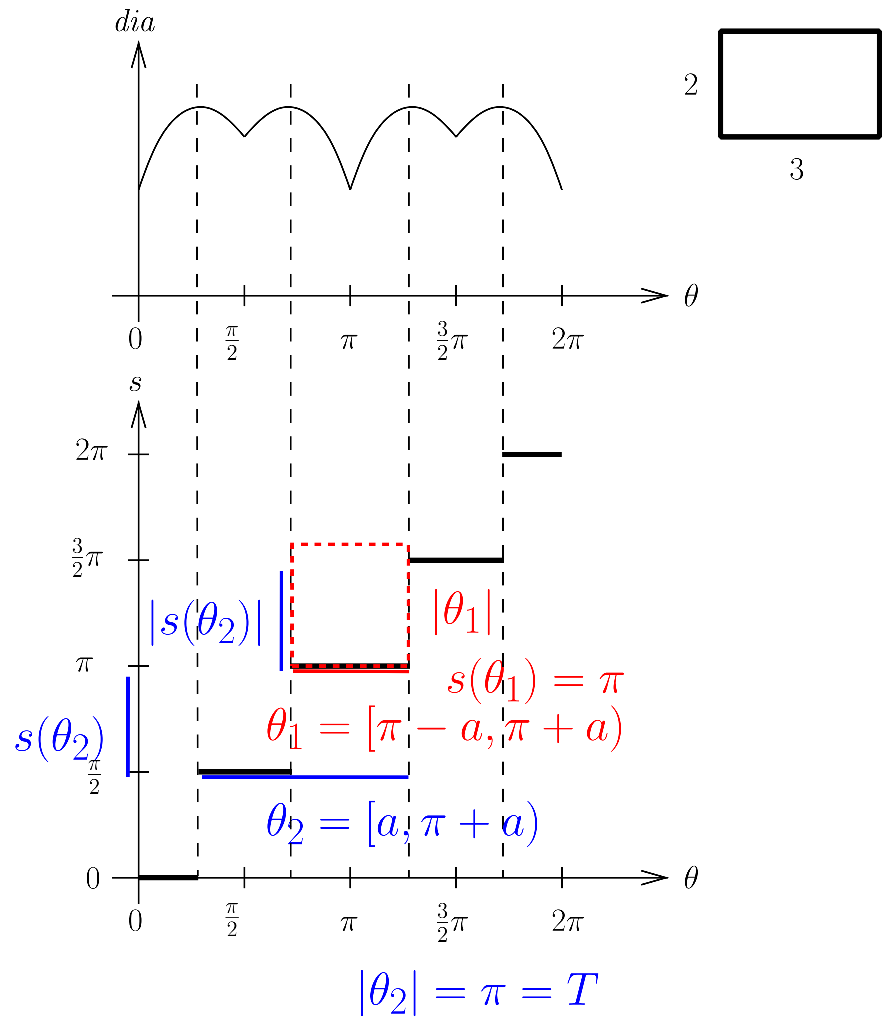
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.



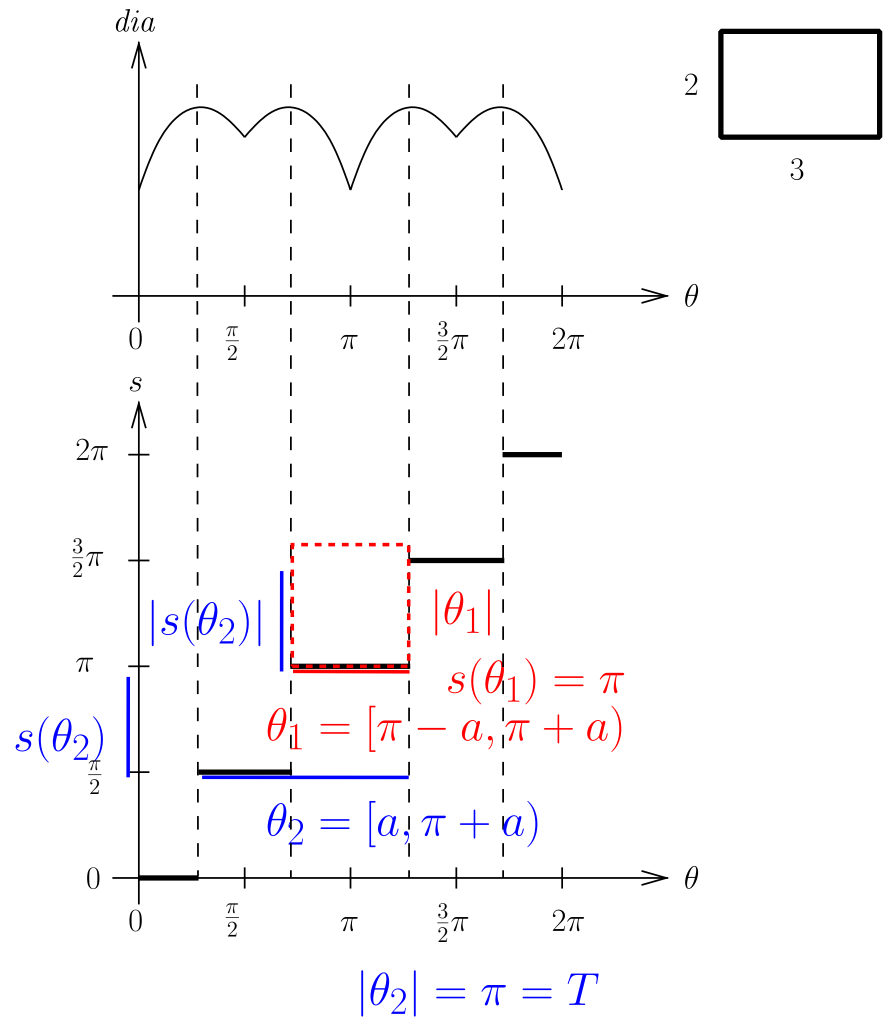
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen



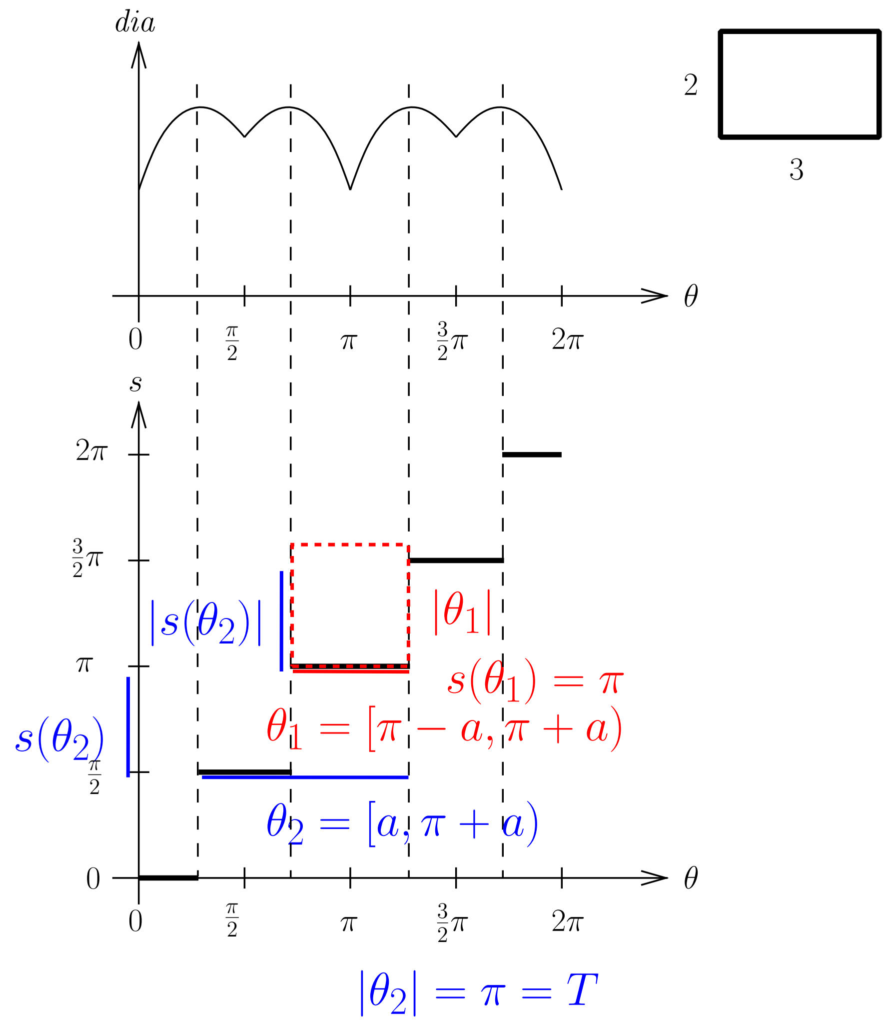
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall
  Θ_1, Greiffunktion stetig



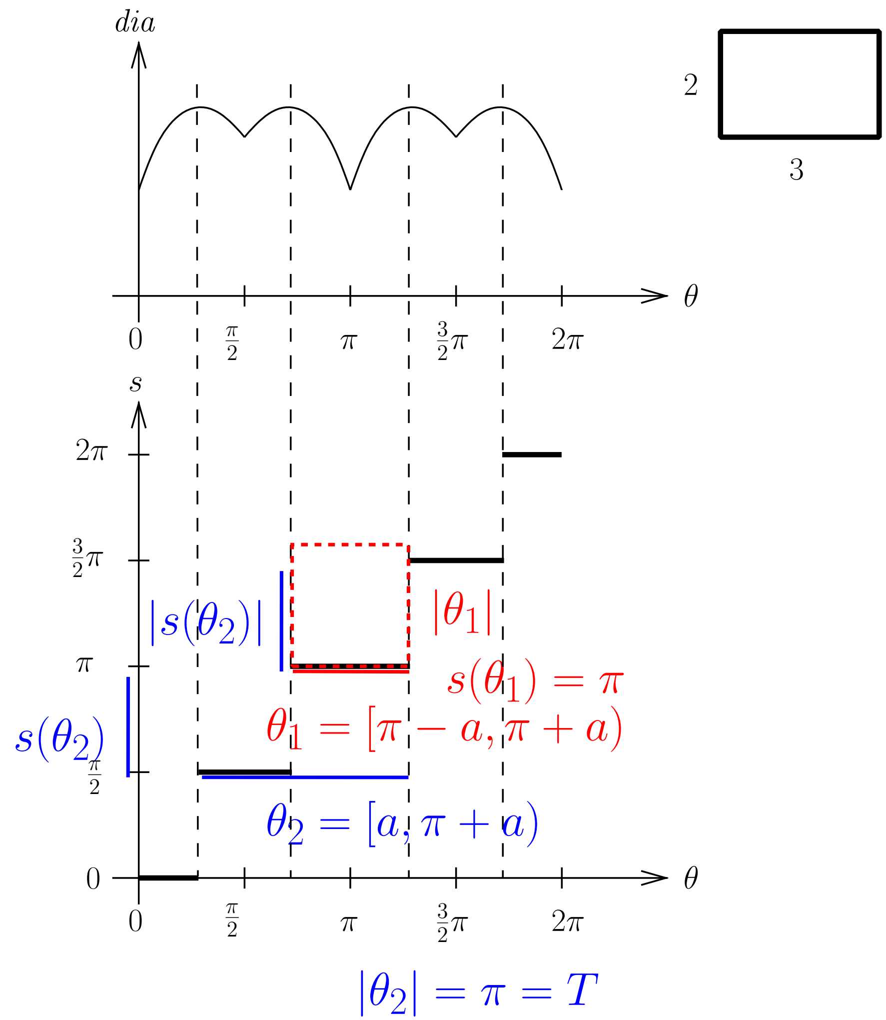
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall
  Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$



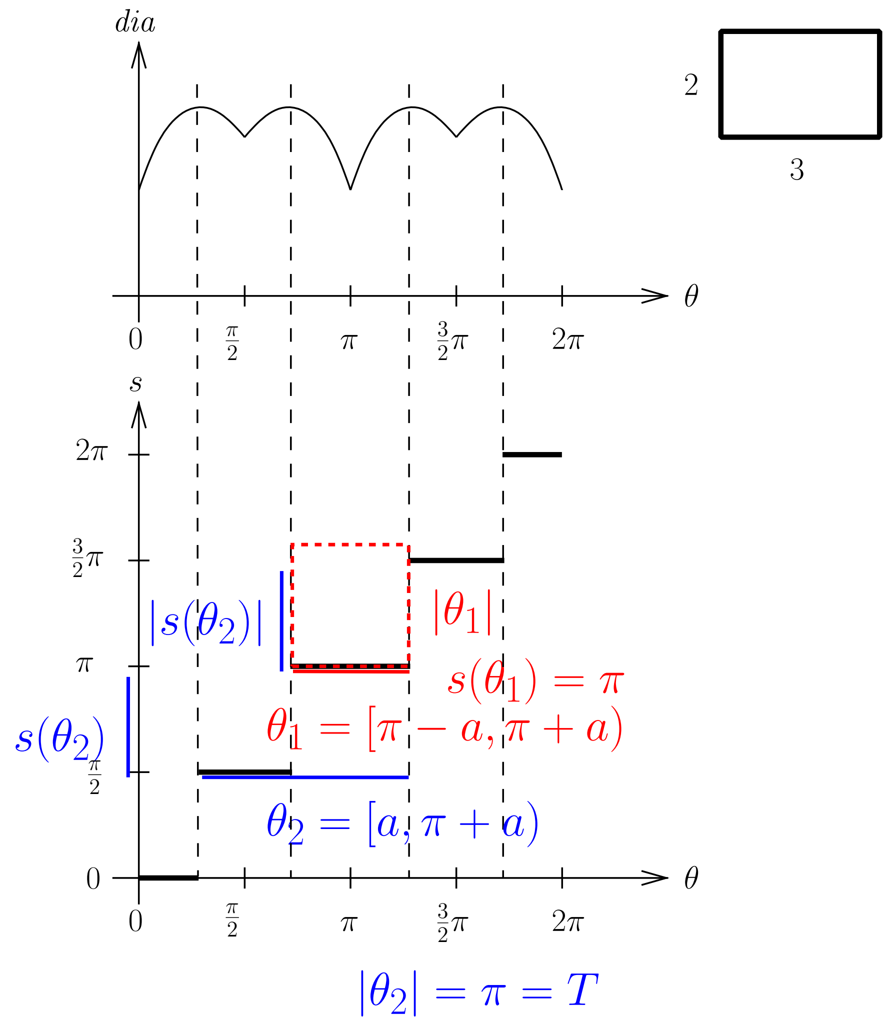
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall
  Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$
- Eine der beiden Richt.



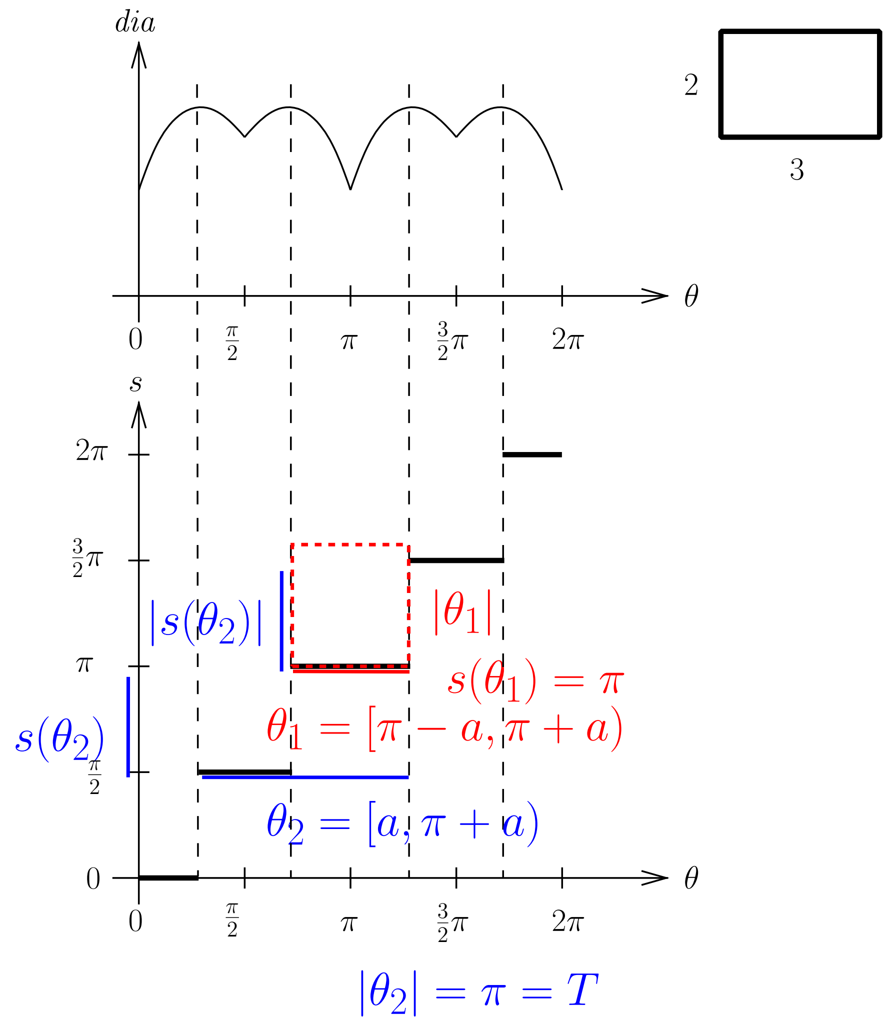
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$
- Eine der beiden Richt.
- Suche s–Intervall $\Theta \leq T$ mit $|s(\Theta)| < |\Theta_1|$



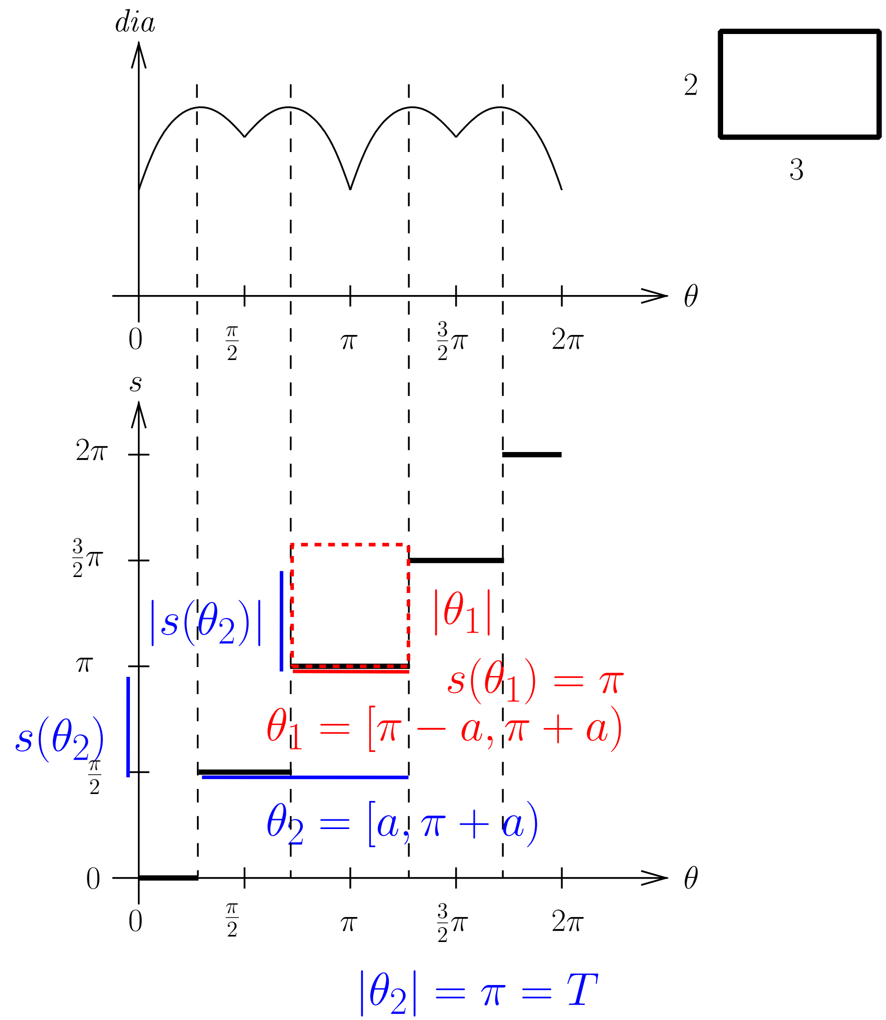
Beispiel Alg.!

- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall
  Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$
- Eine der beiden Richt.
- Suche s–Intervall $\Theta \leq T$ mit
  $|s(\Theta)| < |\Theta_1|$
- Hier θ_2: $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$



Beispiel Alg.!

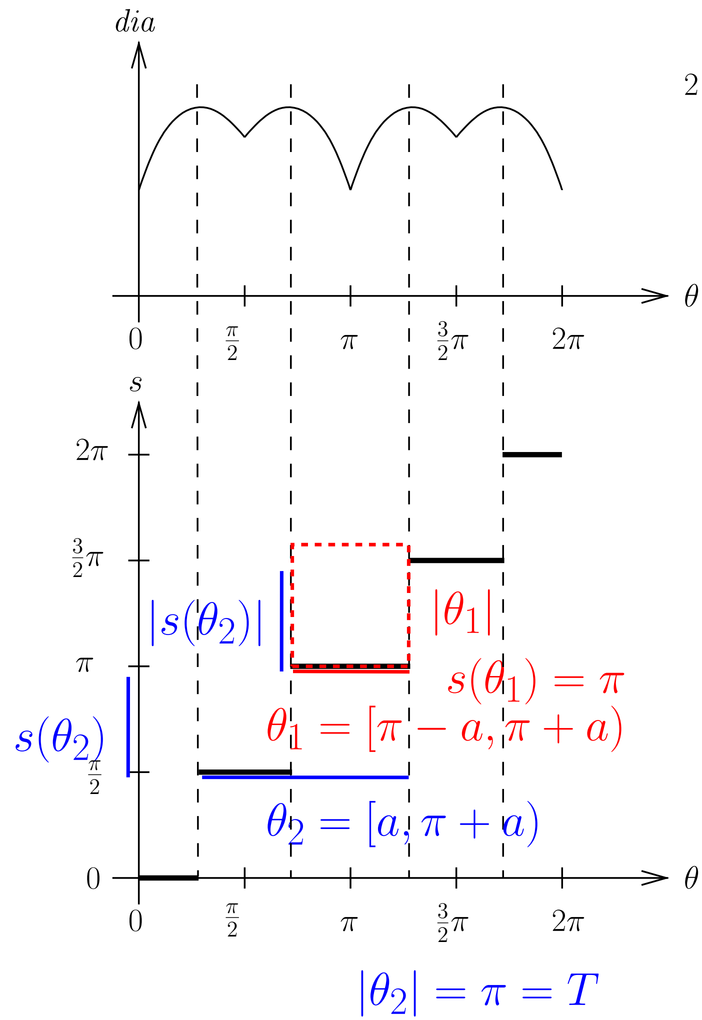
- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$
- Eine der beiden Richt.
- Suche s–Intervall $\Theta \leq T$ mit $|s(\Theta)| < |\Theta_1|$
- Hier θ_2: $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$
- $|\theta_2| = \pi = T$ fertig!!

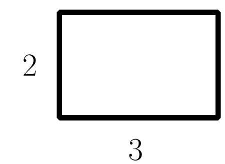


Beispiel Alg.!

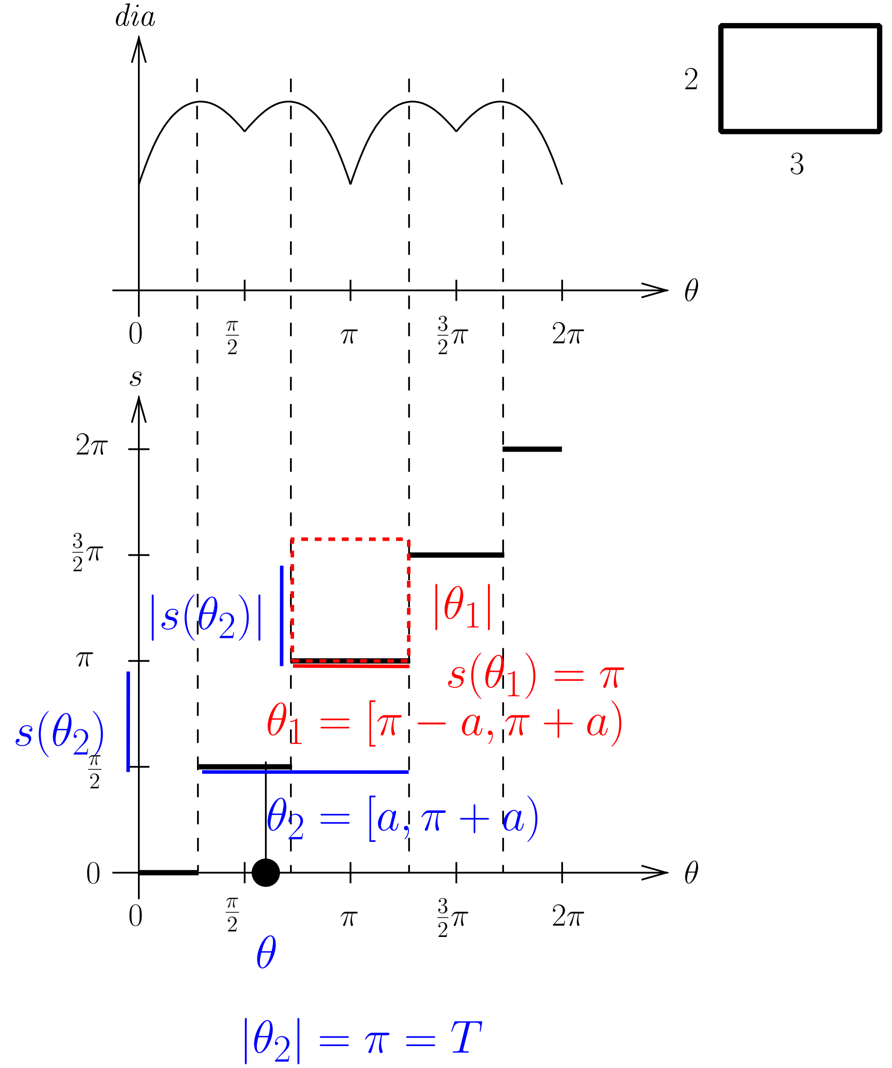
- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- kl. Periode $T = \pi$
  zwei Endorientierungen
- Bestimme längstes s–Intervall
  Θ_1, Greiffunktion stetig
- Hier: θ_1, $s(\theta_1) = \pi$
- Eine der beiden Richt.
- Suche s–Intervall $\Theta \leq T$ mit
  $|s(\Theta)| < |\Theta_1|$
- Hier θ_2: $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$
- $|\theta_2| = \pi = T$ fertig!!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.



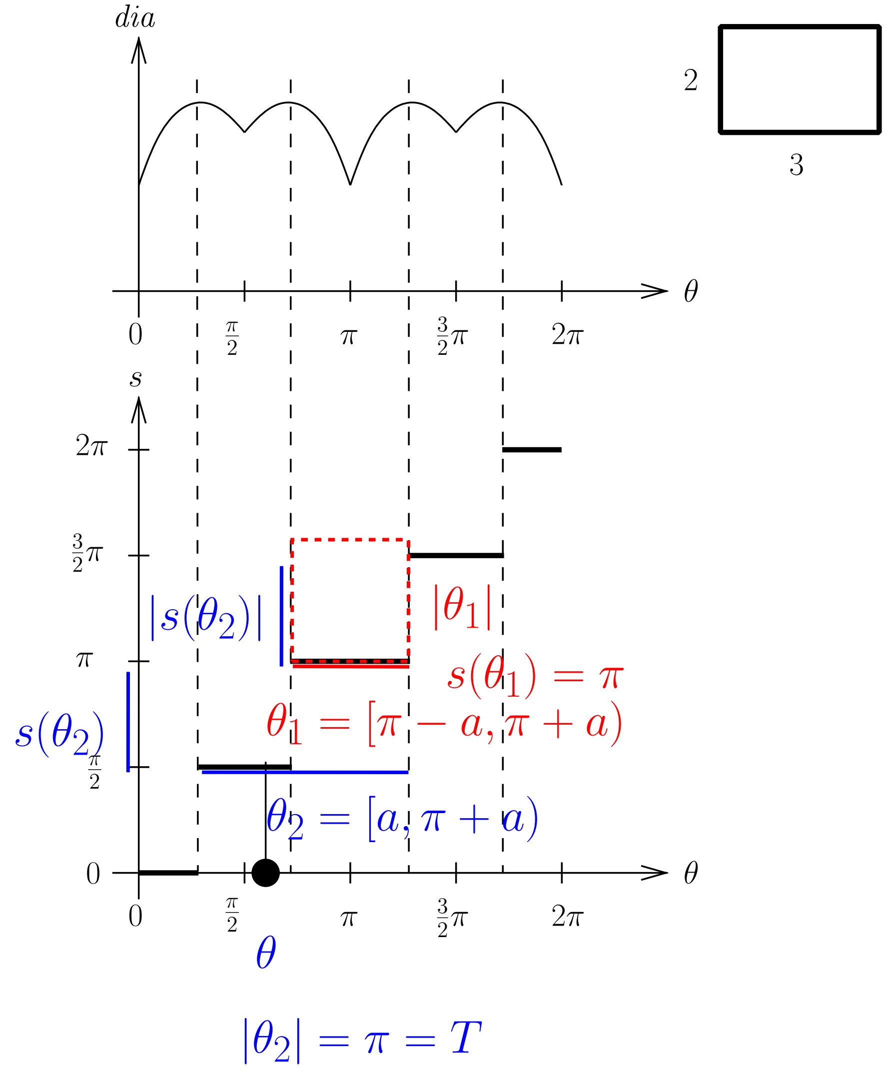


Beispiel Alg.!



Beispiel Alg.!

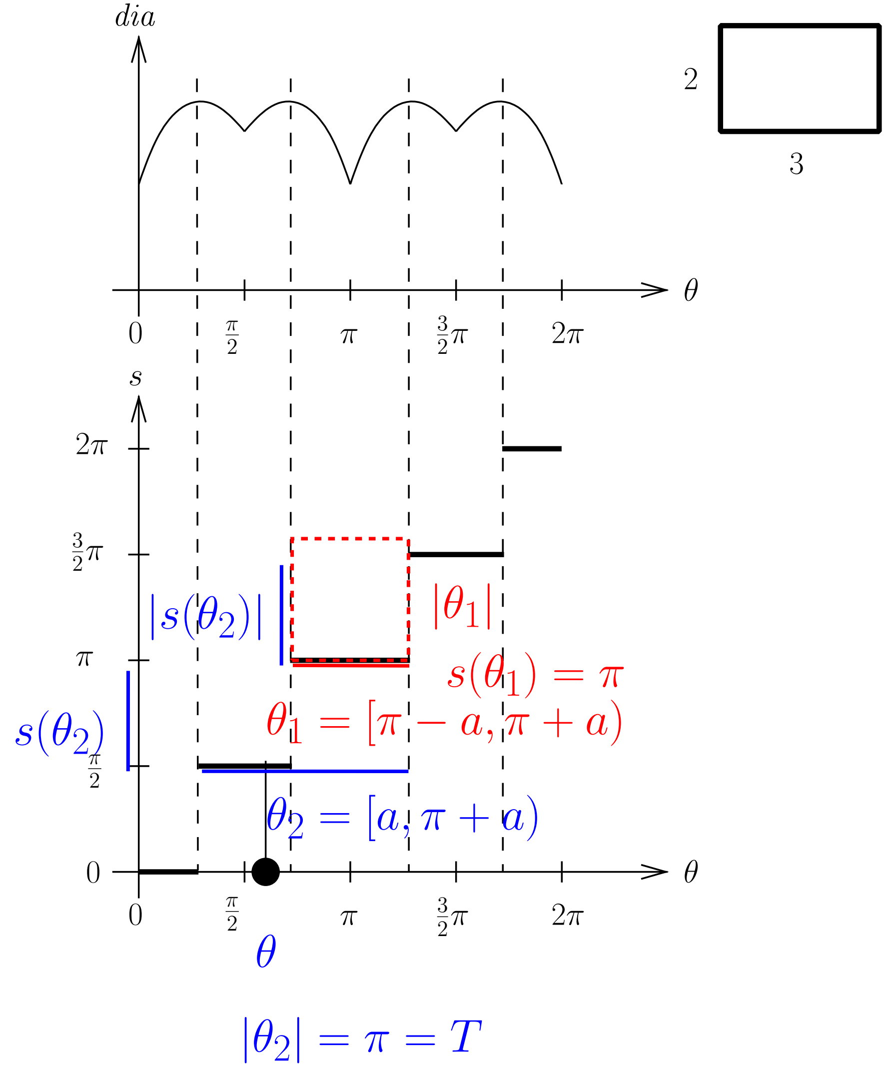
$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

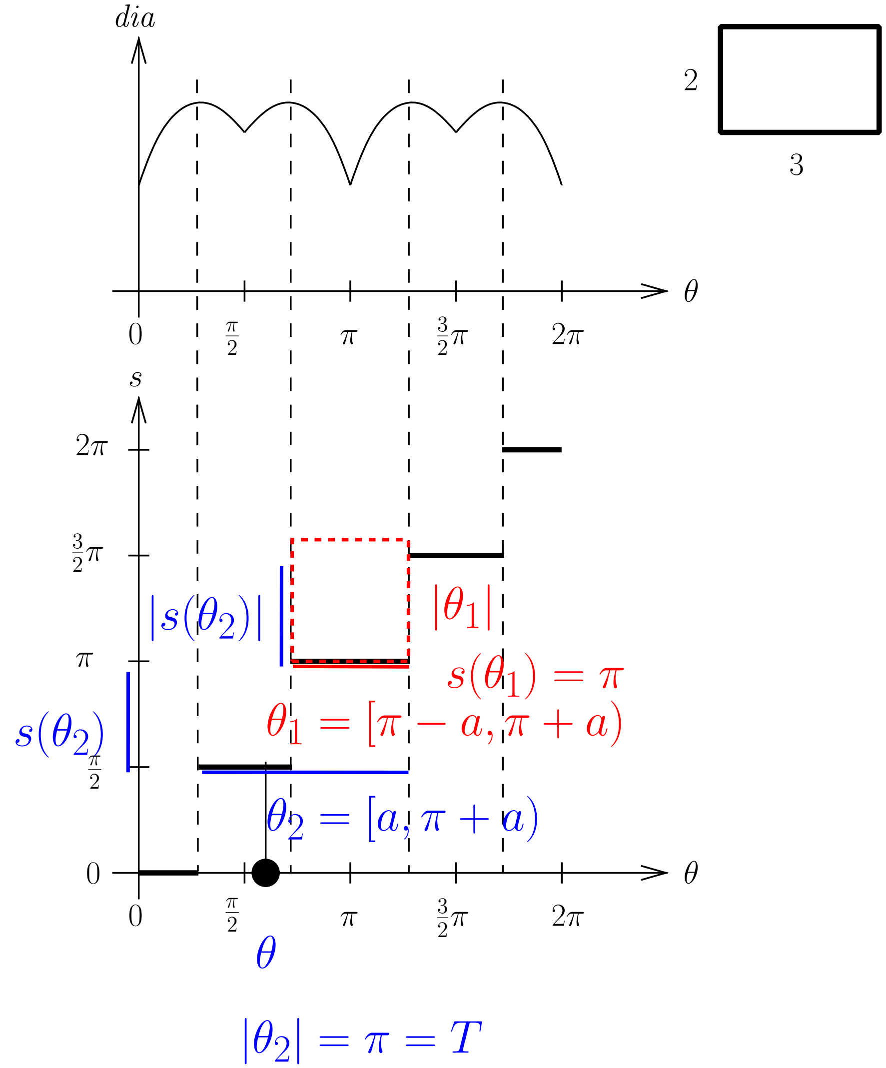
- Startorientierung: θ



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

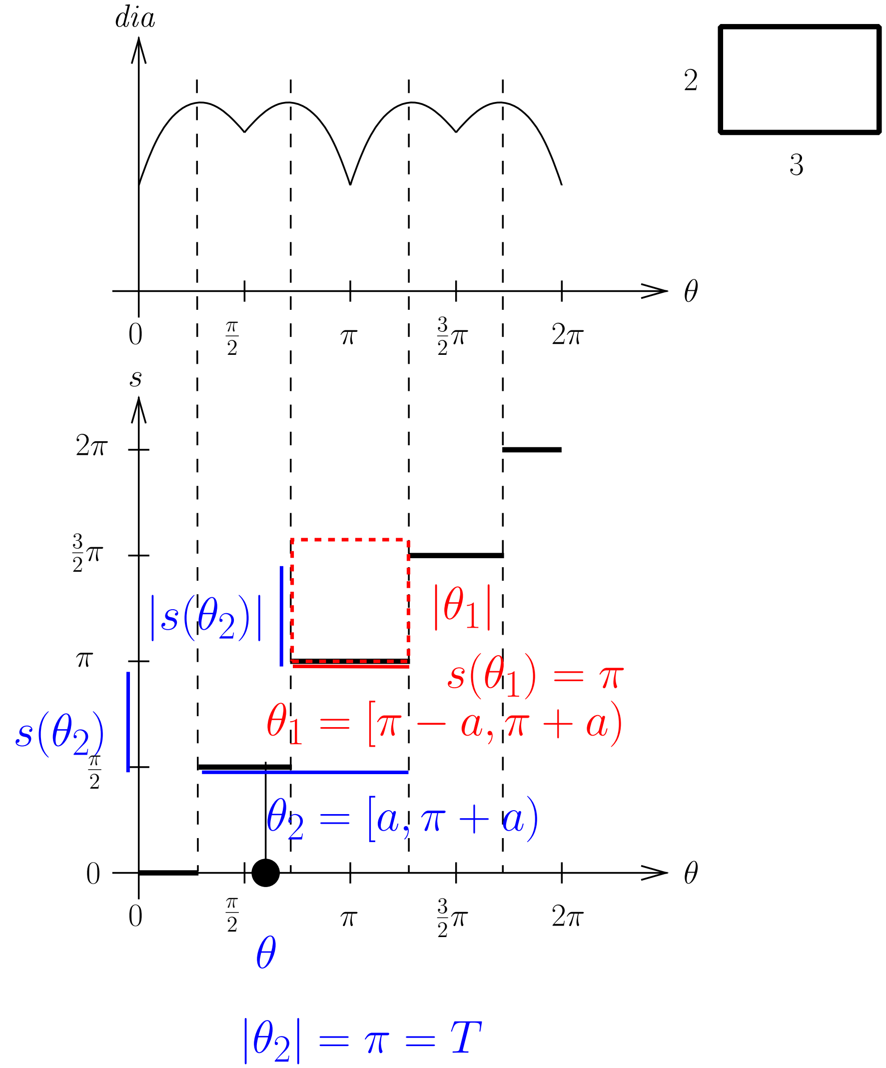
- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

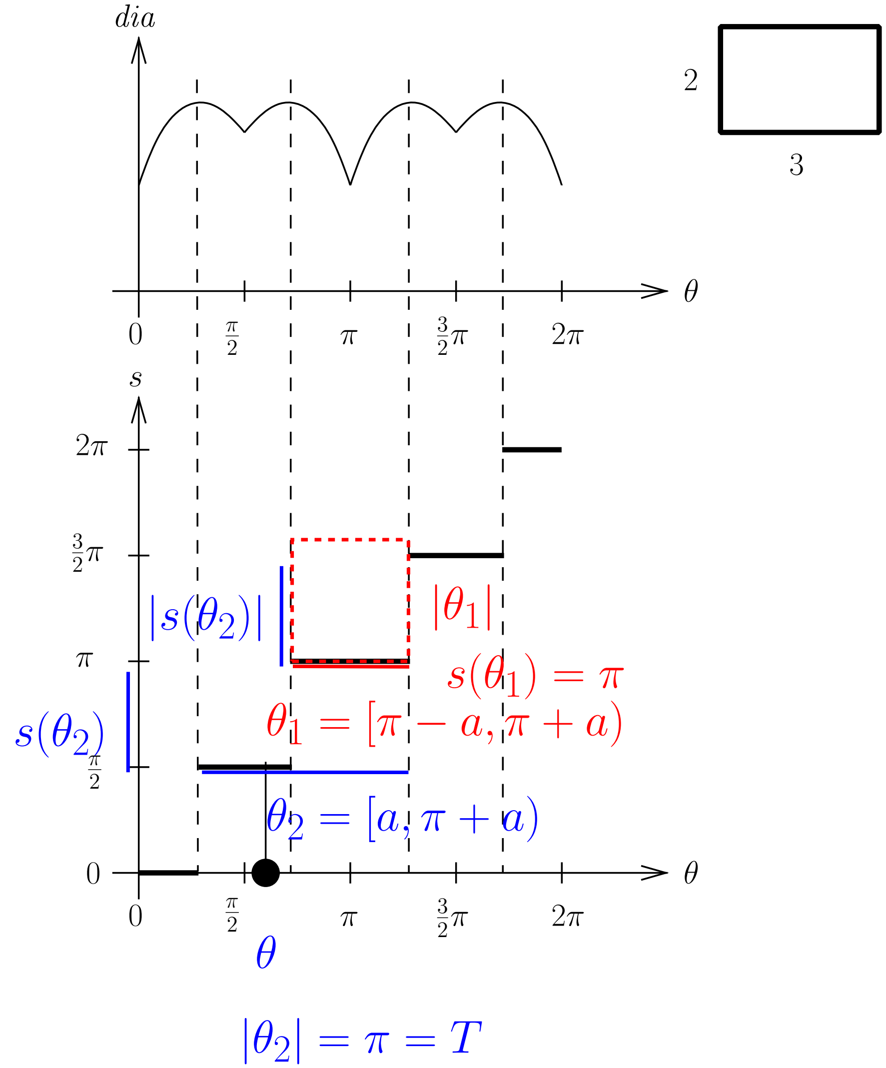
- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$
- $S(\mathcal{A}, \theta) = \pi$ oder $S(\mathcal{A}, \theta) = 2\pi$



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

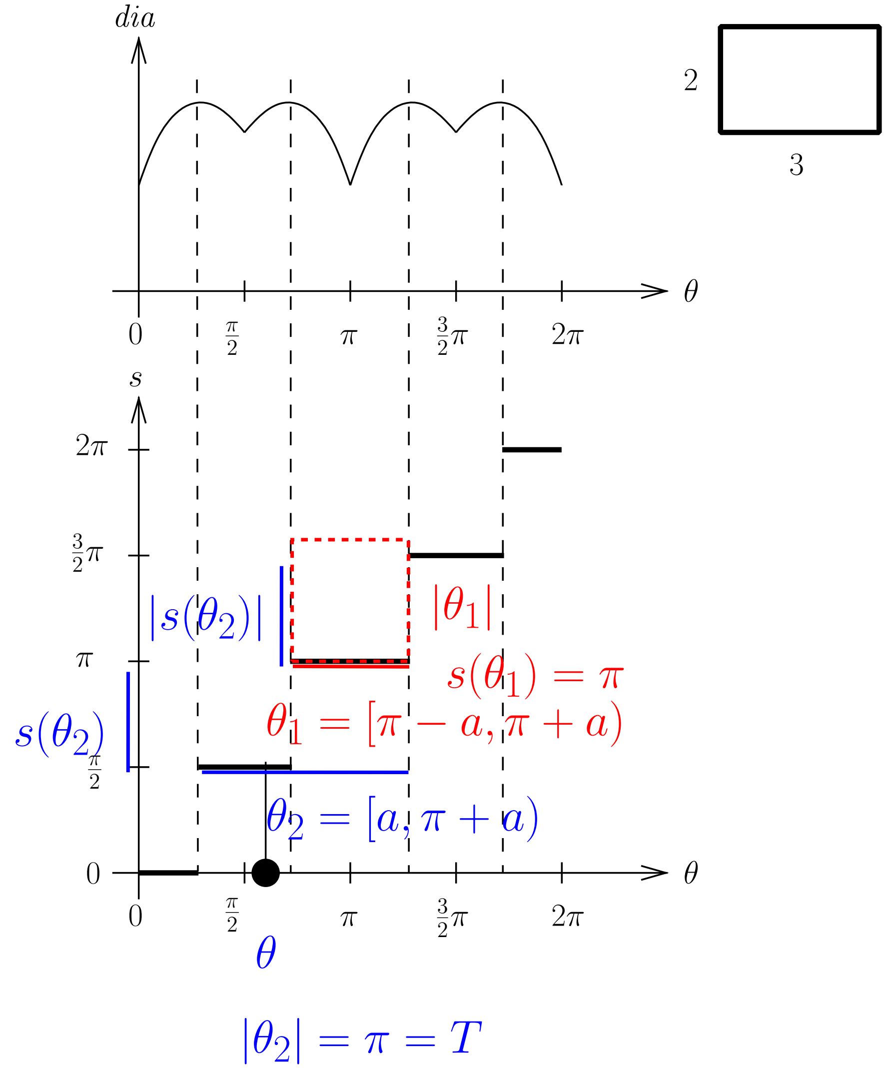
- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$
- $S(\mathcal{A}, \theta) = \pi$ oder $S(\mathcal{A}, \theta) = 2\pi$
- $s(\Theta_1)$ und $s(\Theta_1) + T$



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

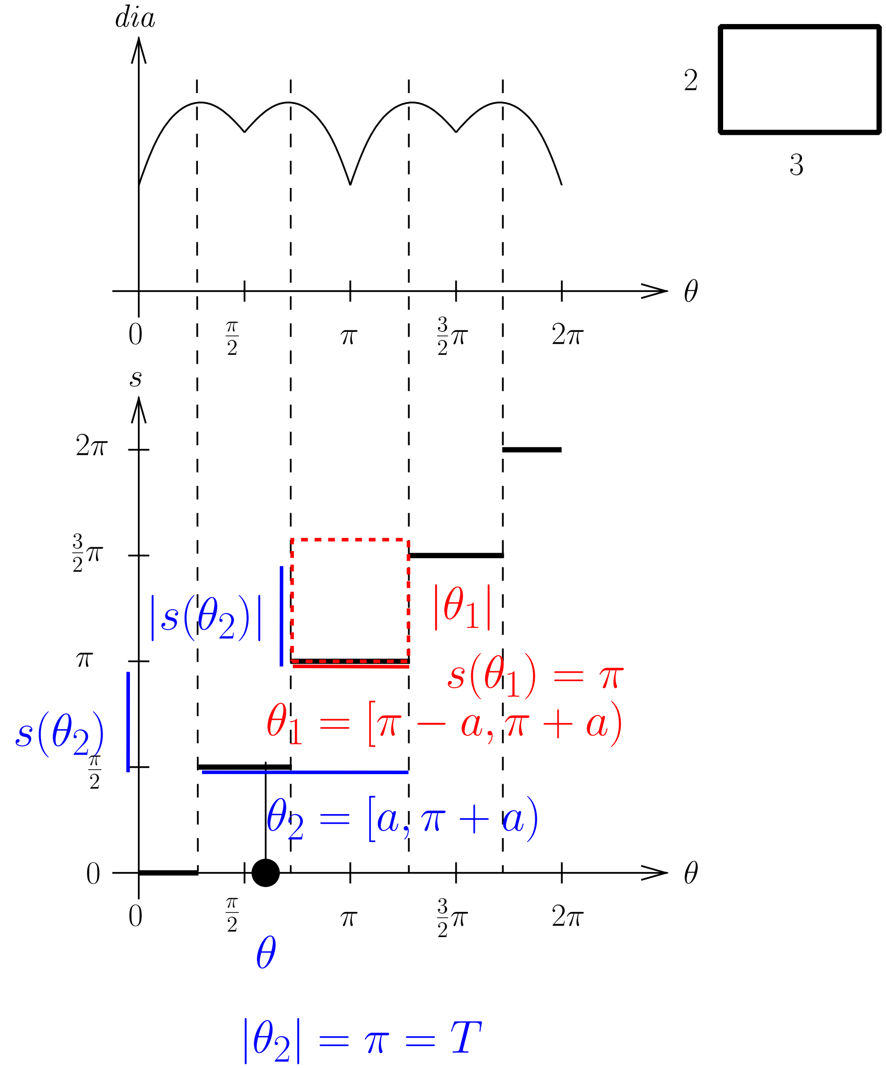
- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$
- $S(\mathcal{A}, \theta) = \pi$ oder $S(\mathcal{A}, \theta) = 2\pi$
- $s(\Theta_1)$ und $s(\Theta_1) + T$
- $\alpha_2 := 0$, Ann: $\theta \in \Theta_2$:



Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

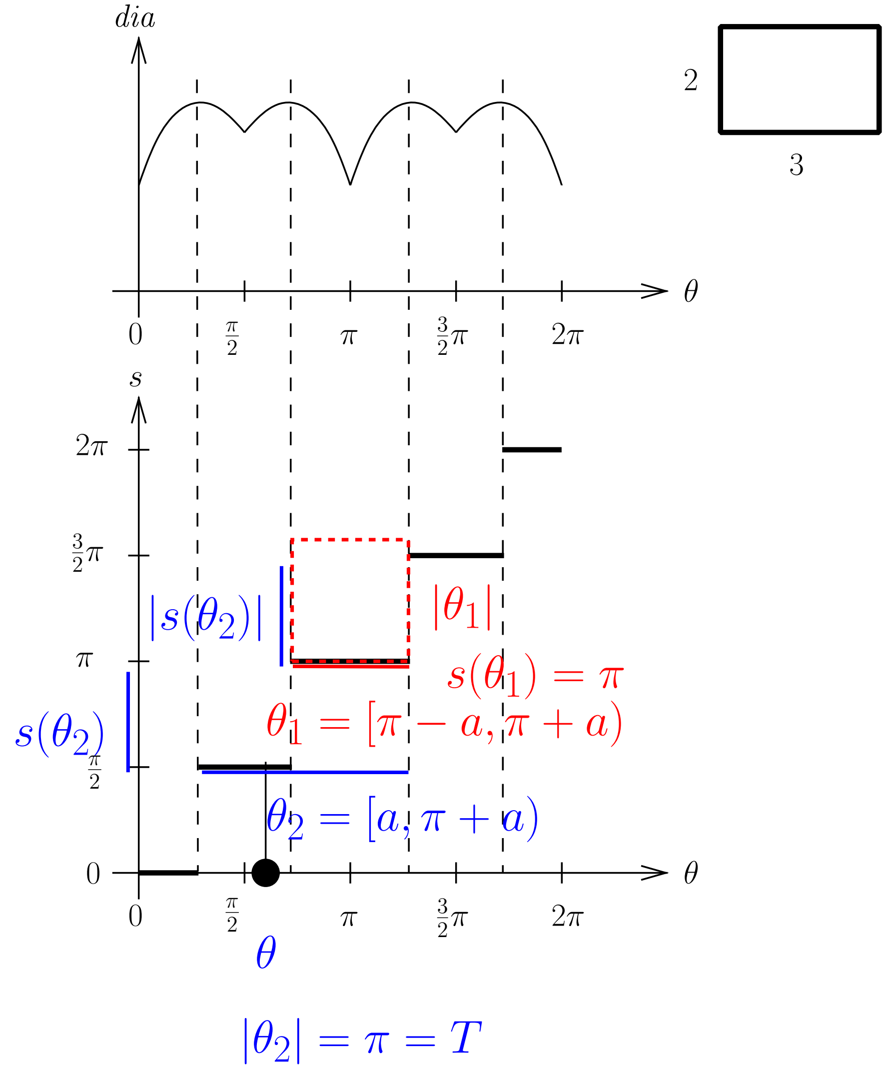
- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$
- $S(\mathcal{A}, \theta) = \pi$ oder $S(\mathcal{A}, \theta) = 2\pi$
- $s(\Theta_1)$ und $s(\Theta_1) + T$
- $\alpha_2 := 0$, Ann: $\theta \in \Theta_2$:
  $s(\theta) = \gamma \in s(\Theta_2)$!



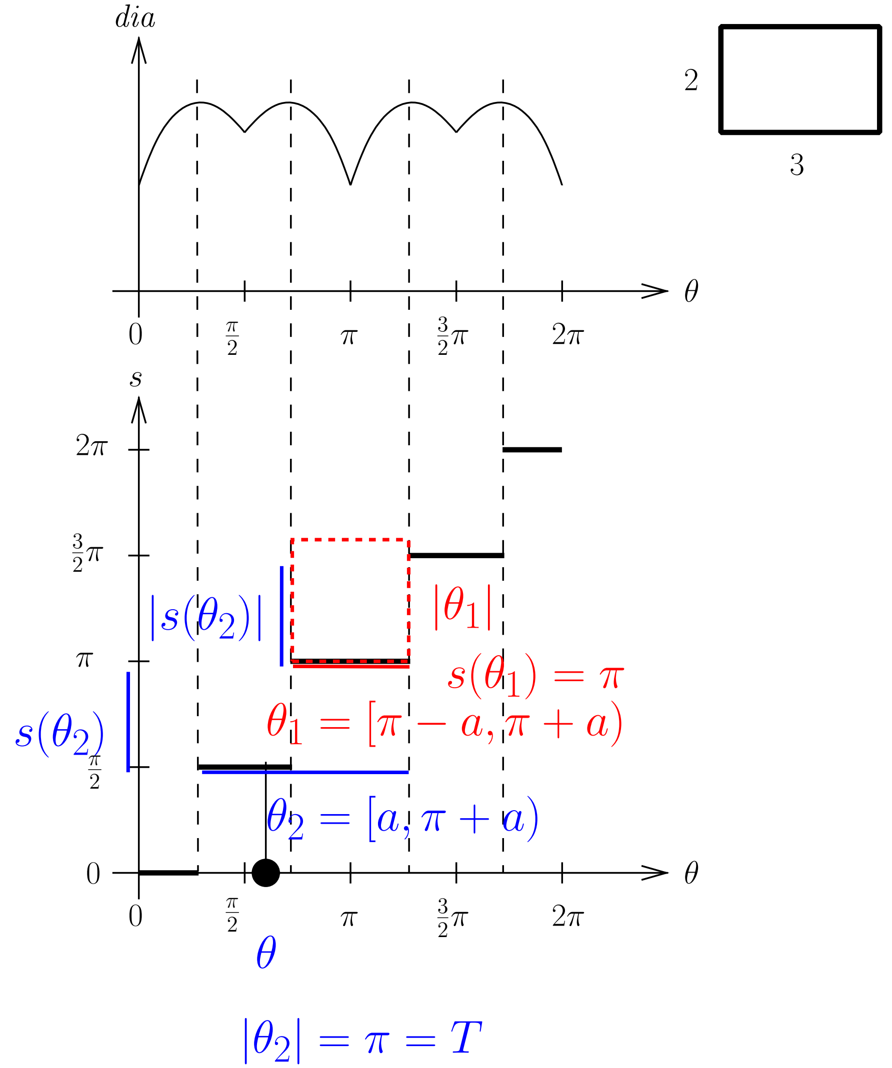
Beispiel Alg.!

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

- Startorientierung: θ
- $\theta \in \Theta_2$ oder $\theta \notin \Theta_2$
- $S(\mathcal{A}, \theta) = \pi$ oder $S(\mathcal{A}, \theta) = 2\pi$
- $s(\Theta_1)$ und $s(\Theta_1) + T$
- $\alpha_2 := 0$, Ann: $\theta \in \Theta_2$:
  $s(\theta) = \gamma \in s(\Theta_2)$!
- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?

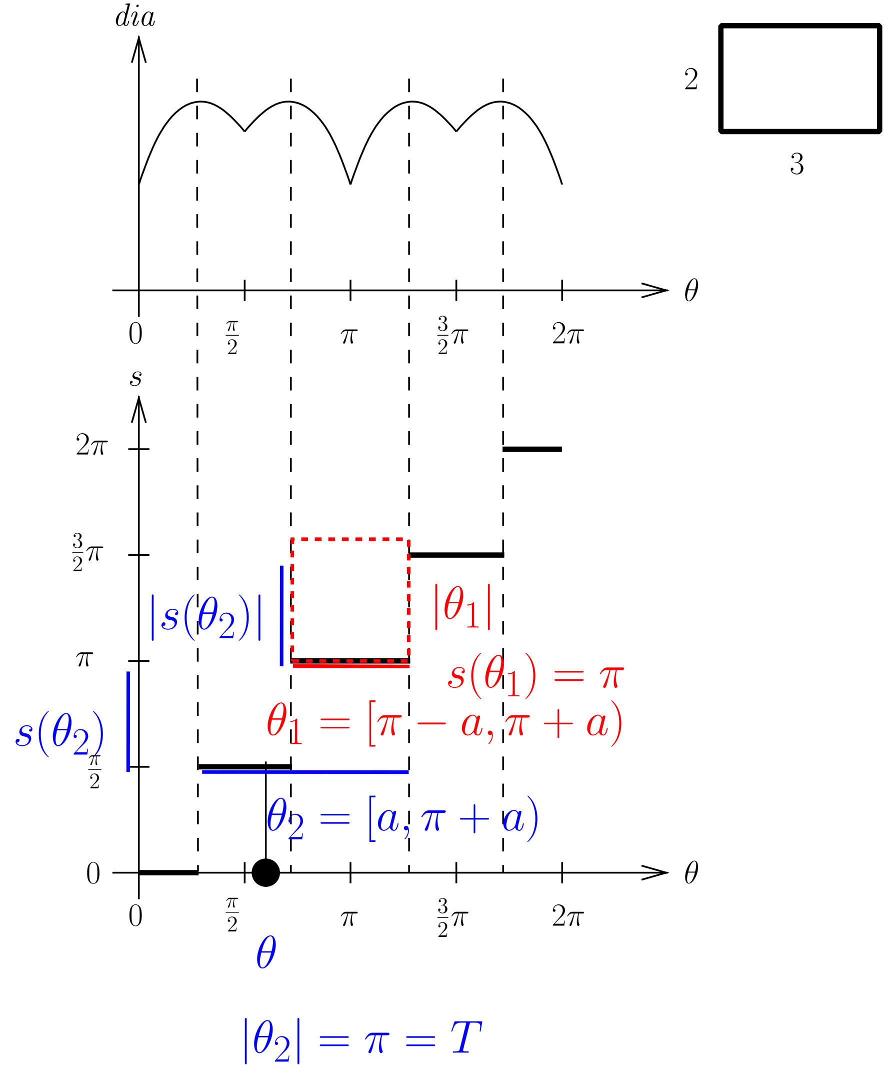


Beispiel Alg.!



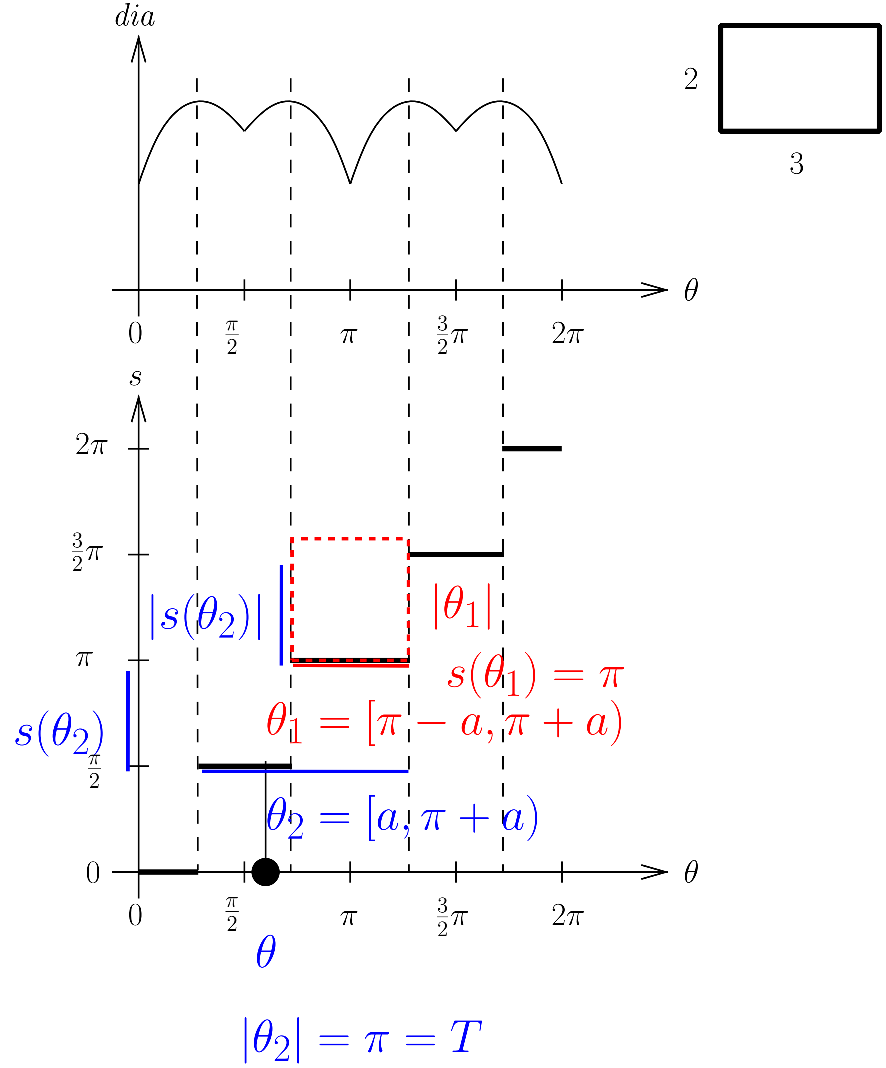
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?



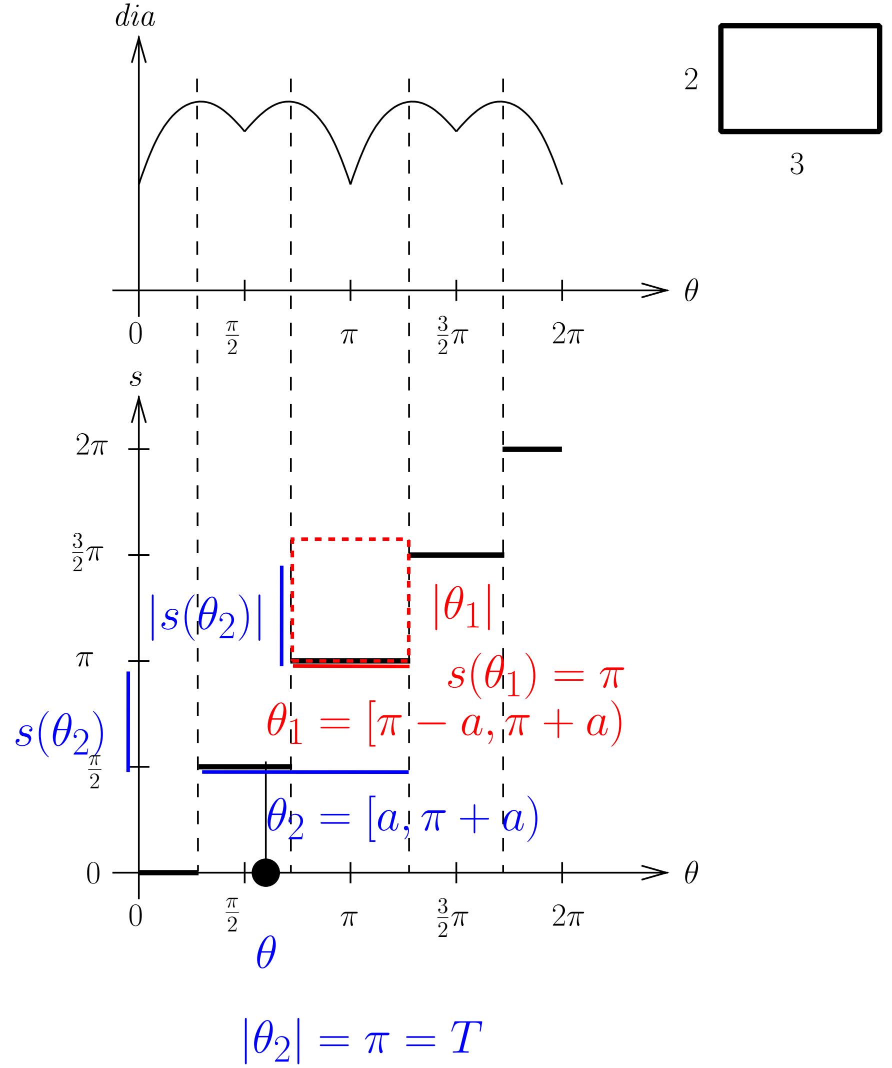
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$



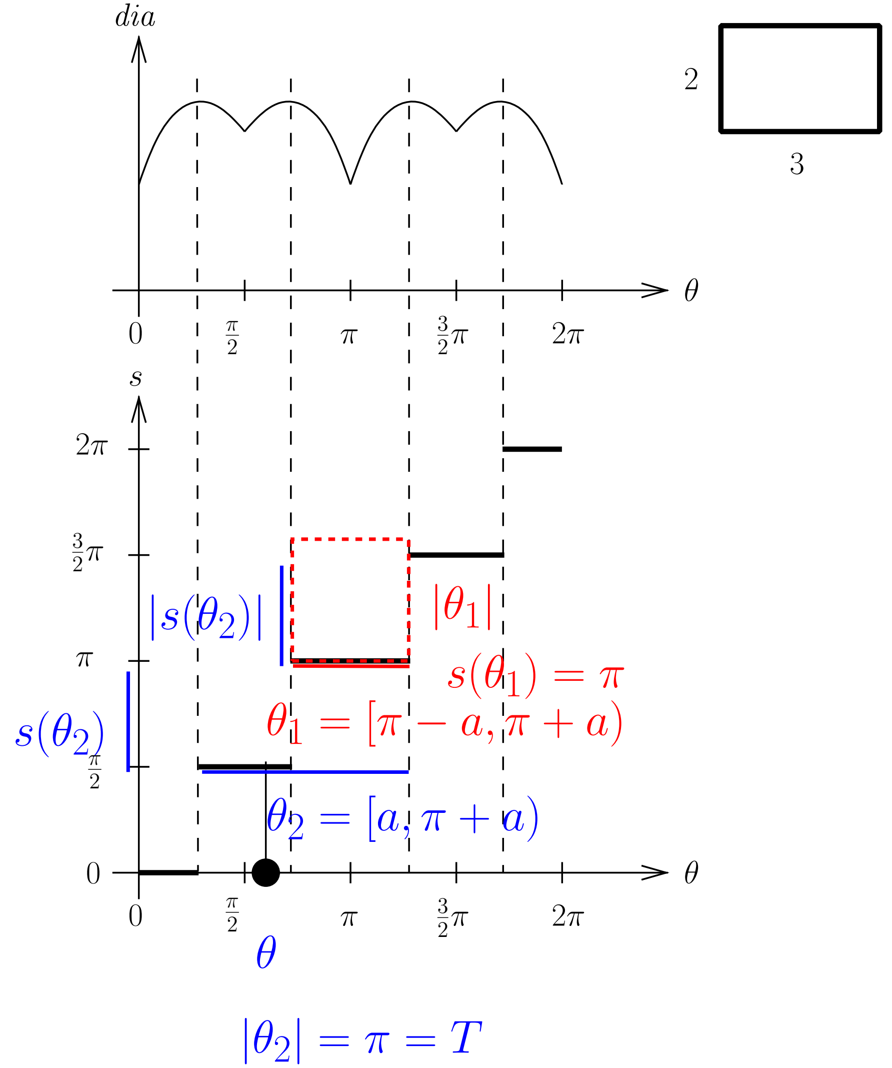
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$



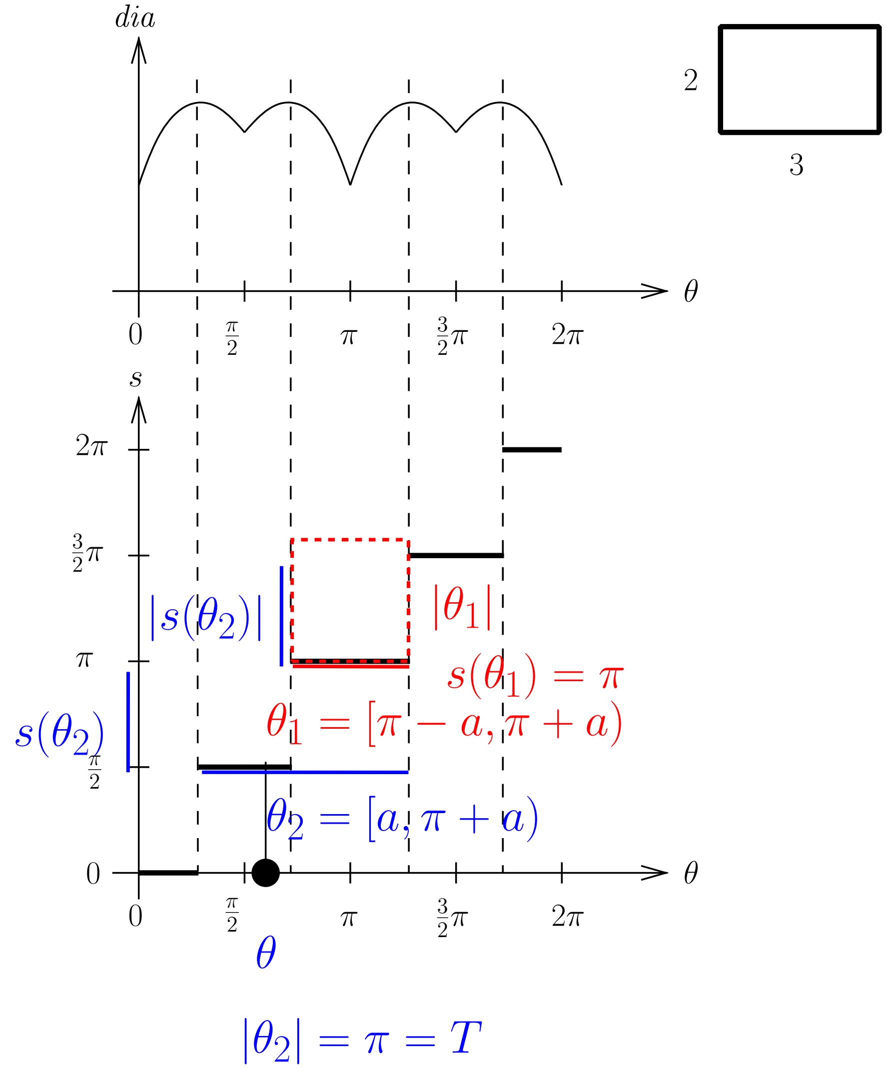
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$



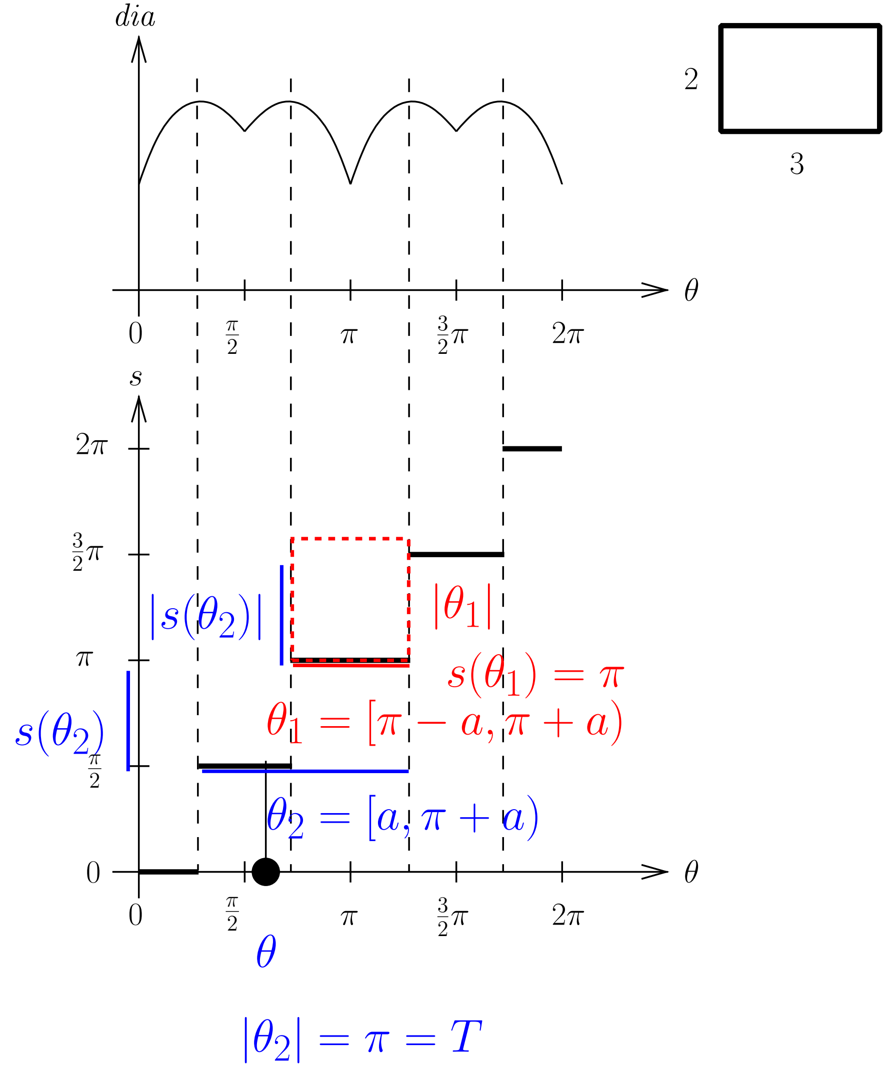
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1)$



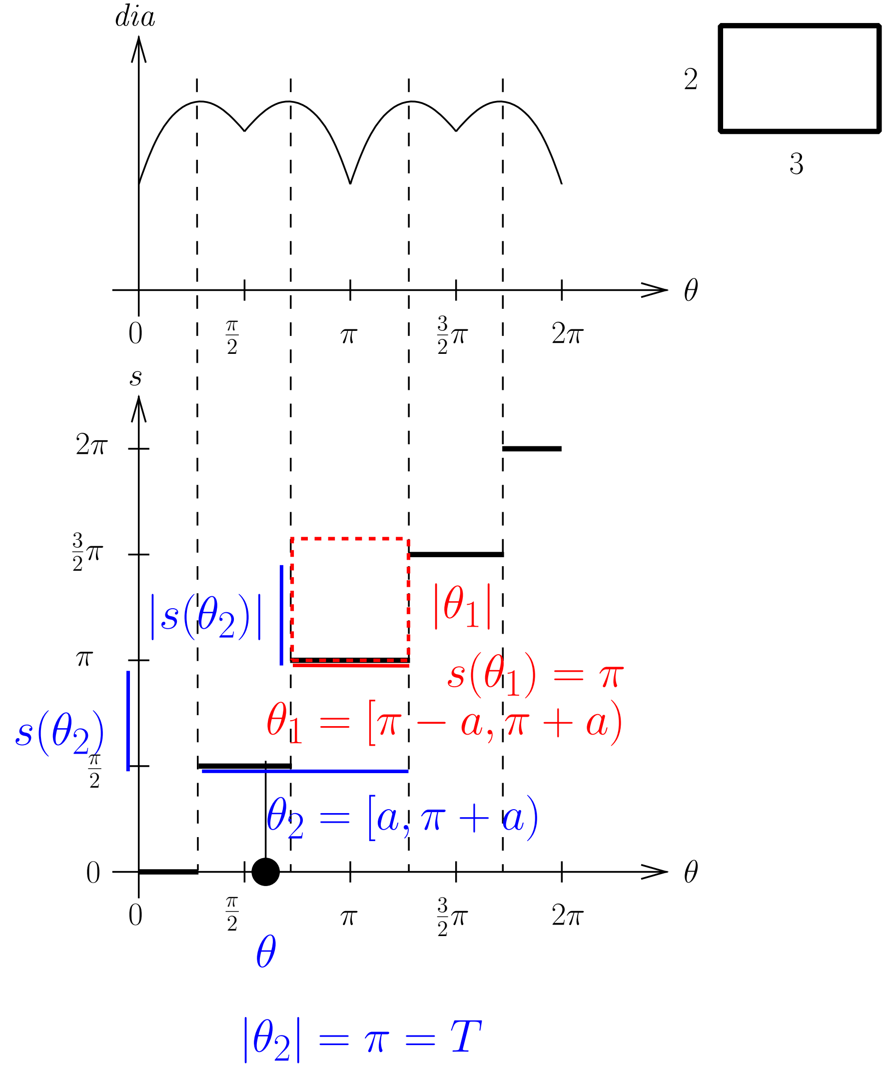
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1)$
- Mit Drehung $s(\xi_2) - \xi_1$ nach
  $s(\Theta_1) = \pi$



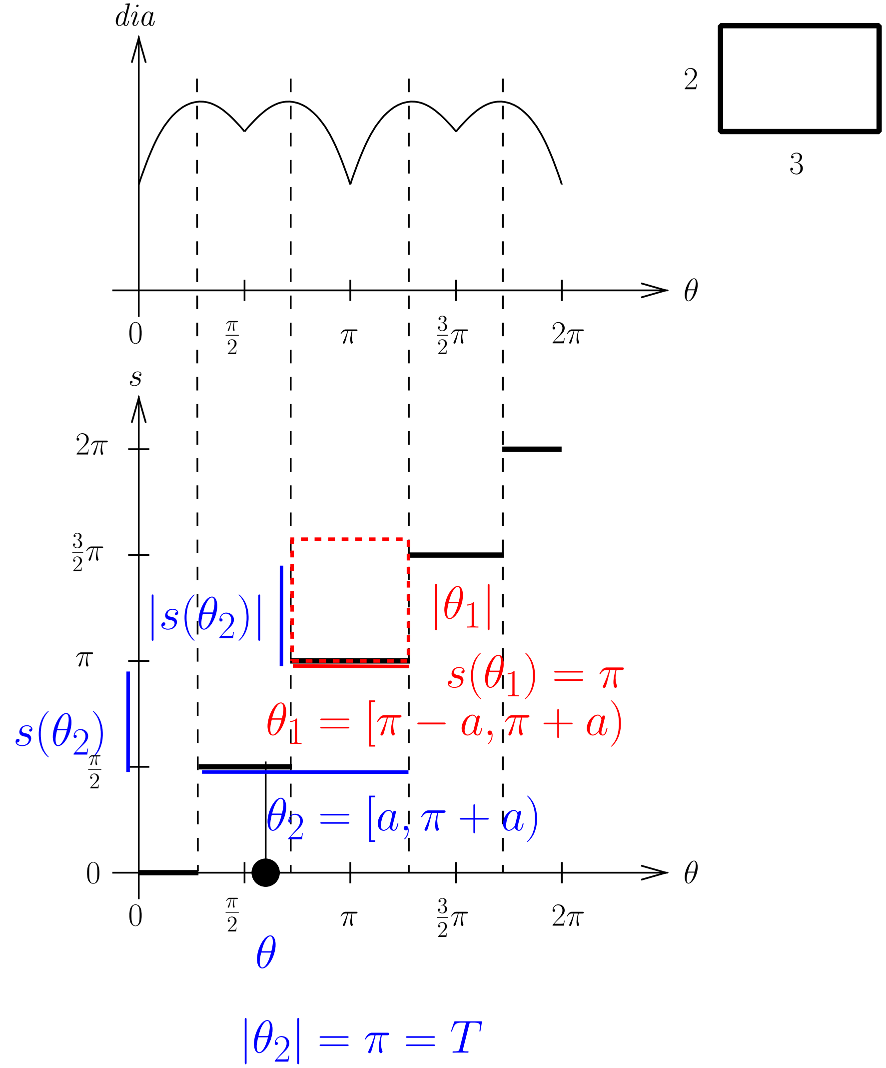
Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1)$
- Mit Drehung $s(\xi_2) - \xi_1$ nach
  $s(\Theta_1) = \pi$
- In die Mitte:
  $\varepsilon_1 = \frac{1}{2}(|\Theta_1| - |s(\Theta_2)|)$

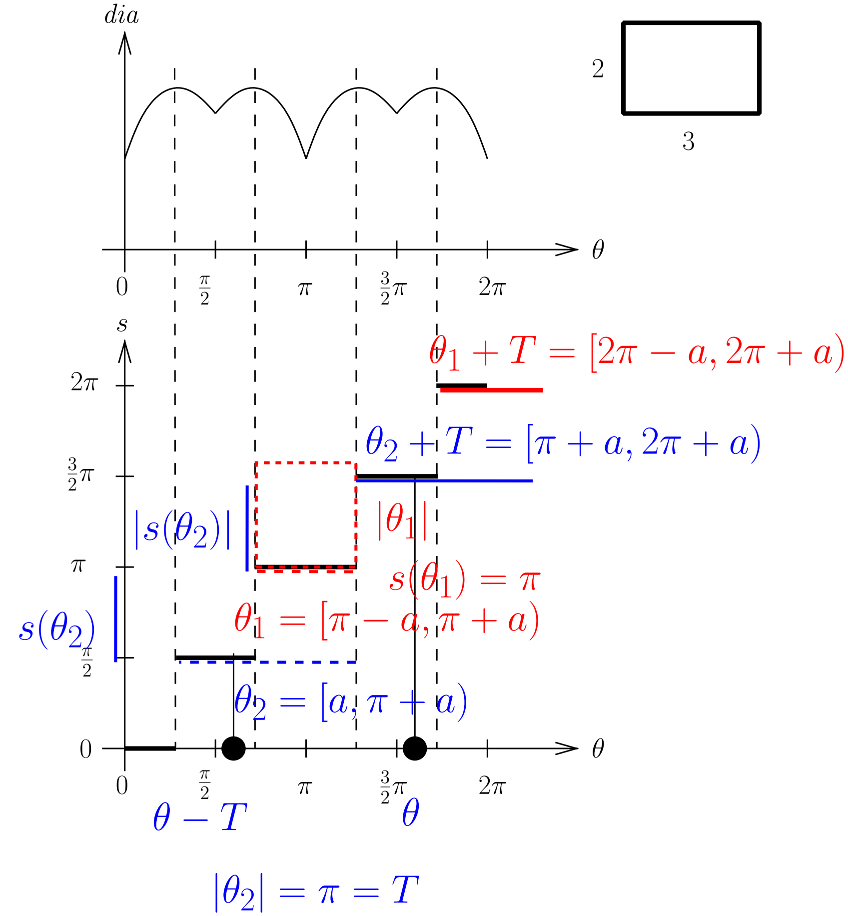


Beispiel Alg.!

- $|s(\Theta_2)| < |\Theta_1|$: Wie γ in $s(\Theta_1)$?
- $s(\Theta_2) = [s(\xi_2), s(\nu_2)]$,
  $\Theta_1 = [\xi_1, \nu_1]$
- $\xi_1 \leq s(\theta) - s(\xi_2) + \xi_1 \leq \nu_1$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1)$
- Mit Drehung $s(\xi_2) - \xi_1$ nach
  $s(\Theta_1) = \pi$
- In die Mitte:
  $\varepsilon_1 = \frac{1}{2}(|\Theta_1| - |s(\Theta_2)|)$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1 - \varepsilon_1)$

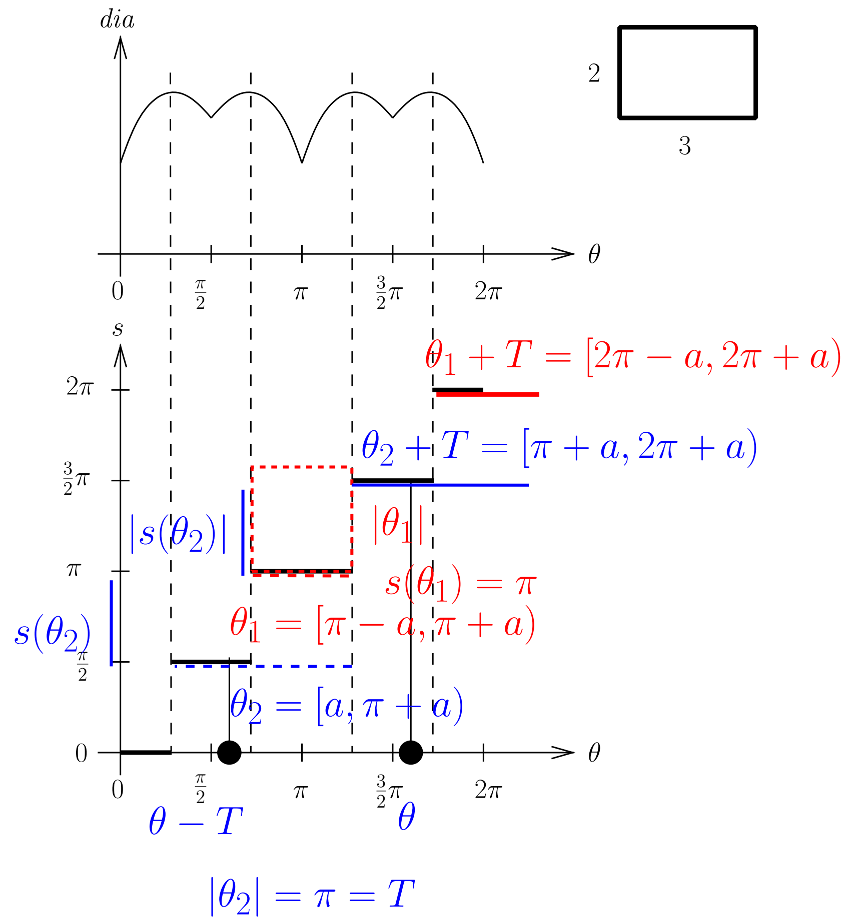


Beispiel Alg.!

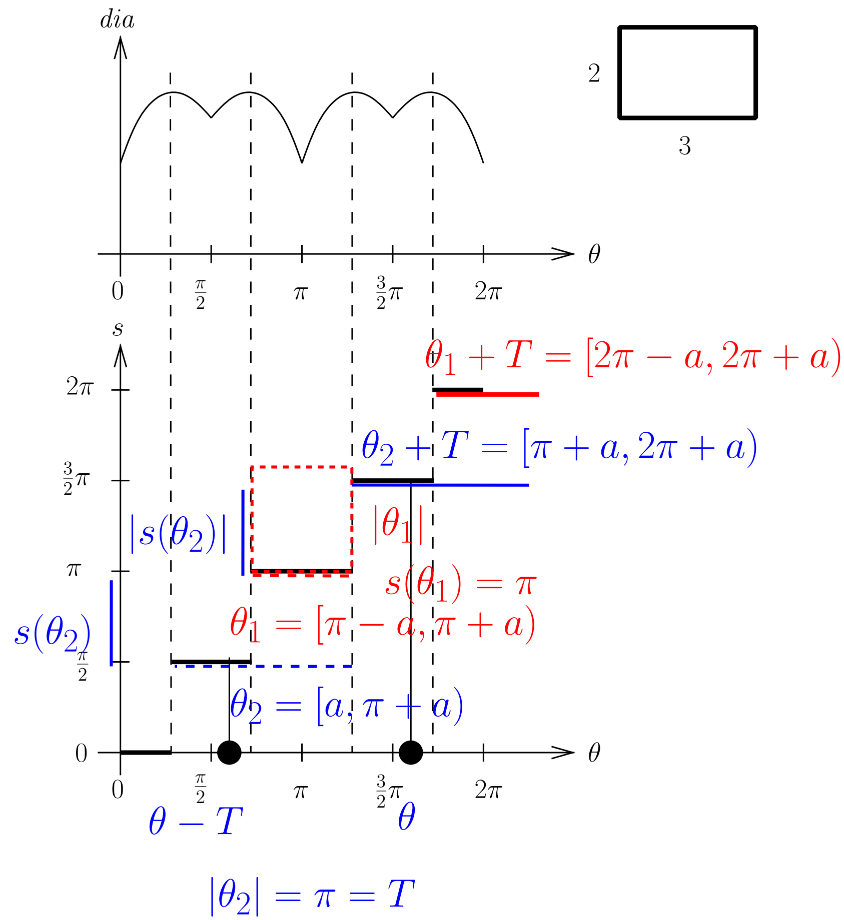


dia
2
3
θ
0
$\frac{\pi}{2}$
π
$\frac{3}{2}\pi$
2π
s
$\theta_1 + T = [2\pi - a, 2\pi + a)$
$\theta_2 + T = [\pi + a, 2\pi + a)$
$|s(\theta_2)|$
$|\theta_1|$
$s(\theta_1) = \pi$
$s(\theta_2)$
$\theta_1 = [\pi - a, \pi + a)$
$\theta_2 = [a, \pi + a)$
$\theta - T$
θ
$|\theta_2| = \pi = T$

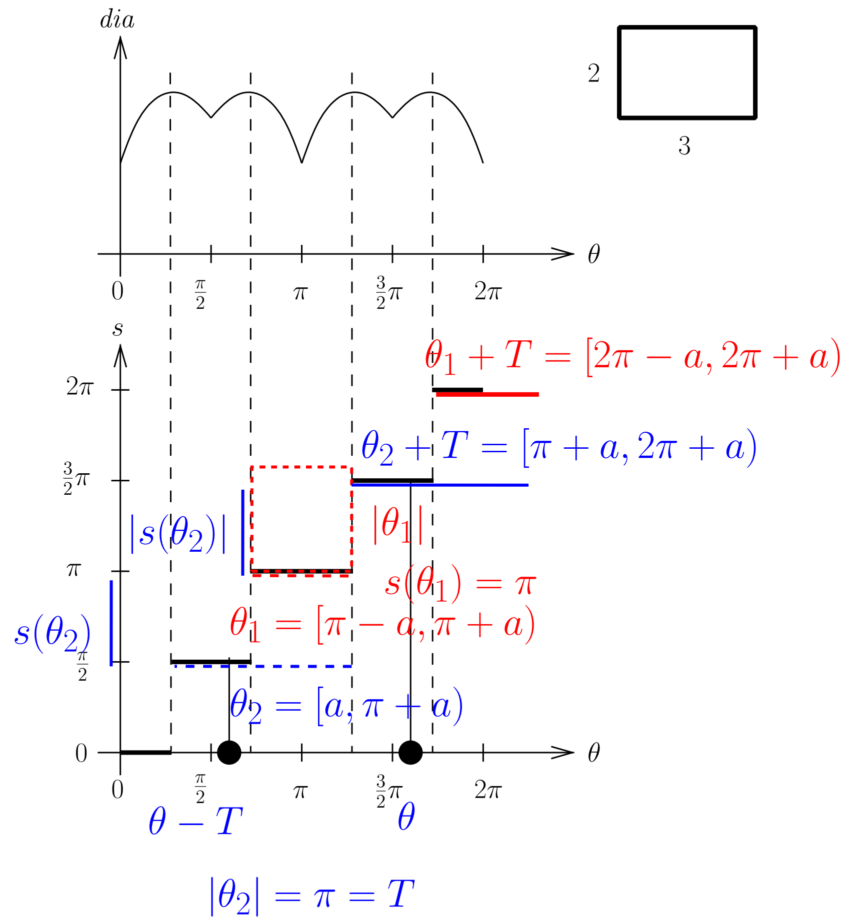
- $\theta \notin \Theta_2$,



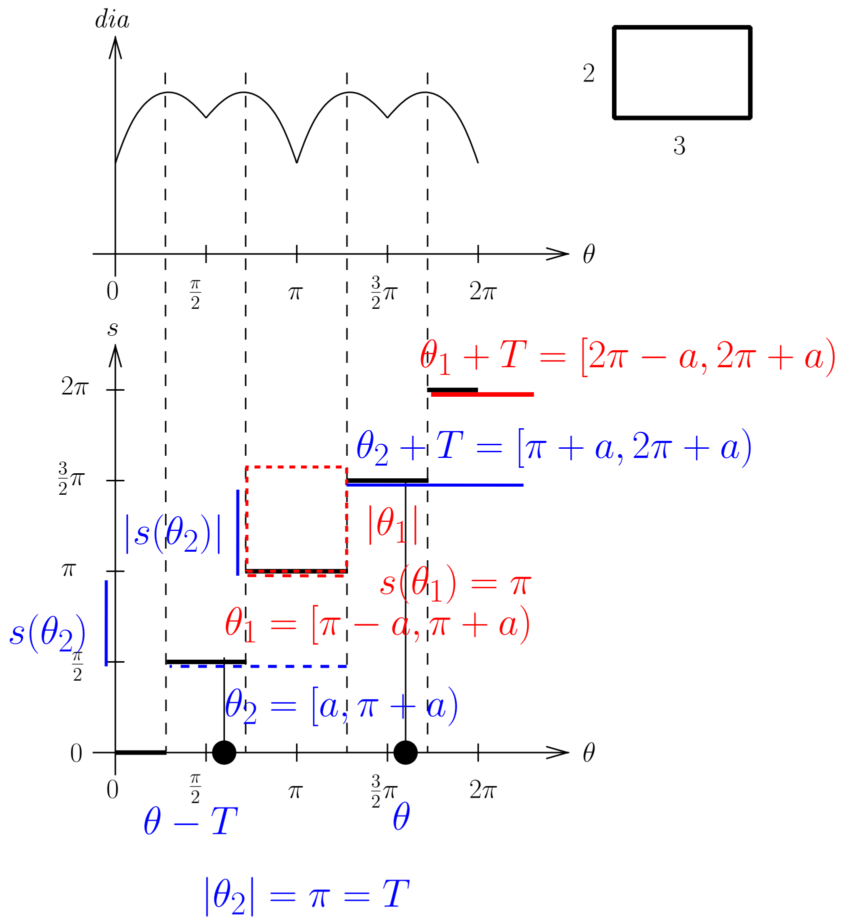
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$



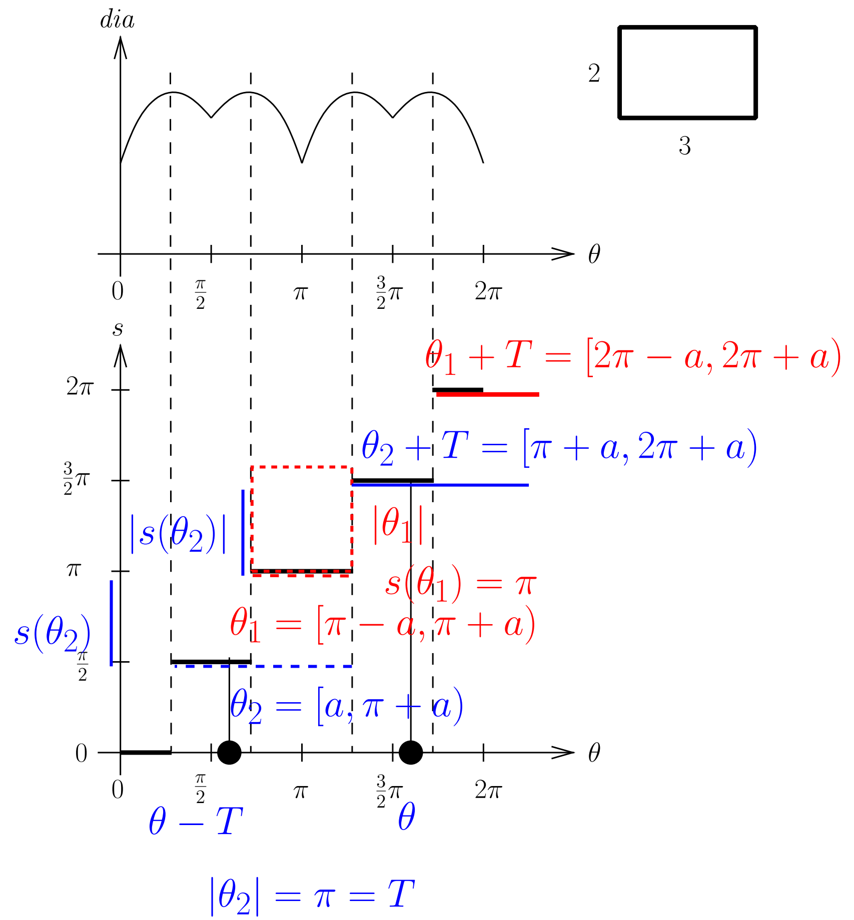
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$,
  $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$,
  $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$



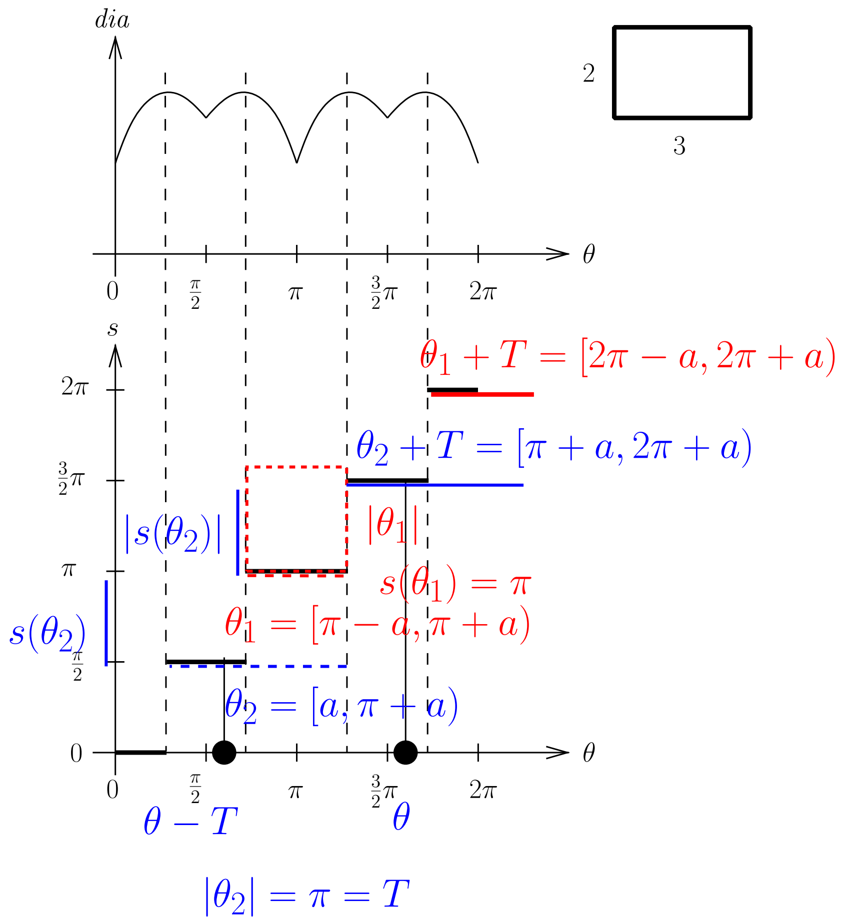
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$,
  $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$,
  $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$
  Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?



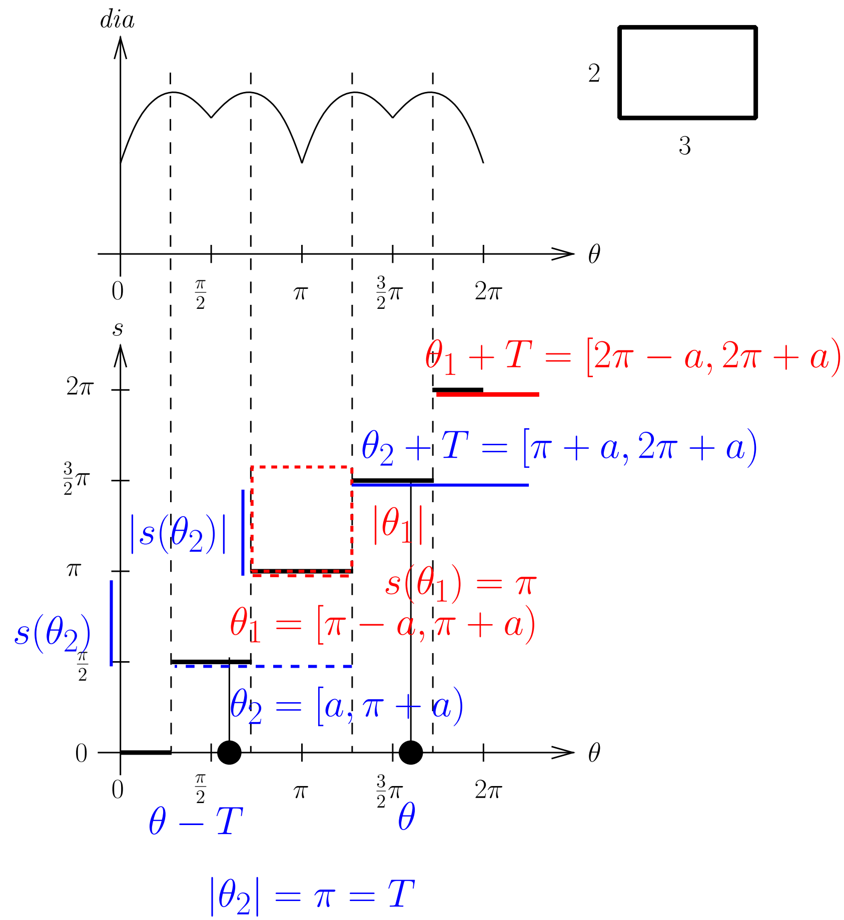
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$,
  $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$,
  $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$
  Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?
- $\xi_1 + T \leq s(\theta) - s(\xi_2 + T) + \xi_1 + T \leq \nu_1 + T$



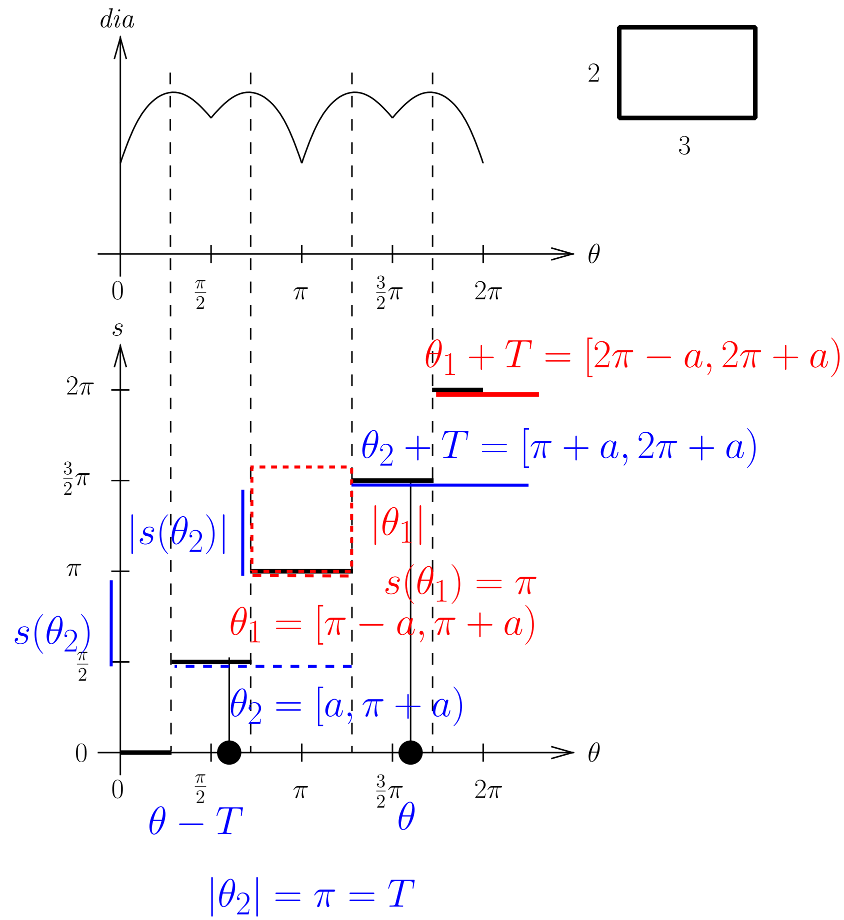
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$, $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$, $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$ Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?
- $\xi_1 + T \leq s(\theta) - s(\xi_2 + T) + \xi_1 + T \leq \nu_1 + T$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$



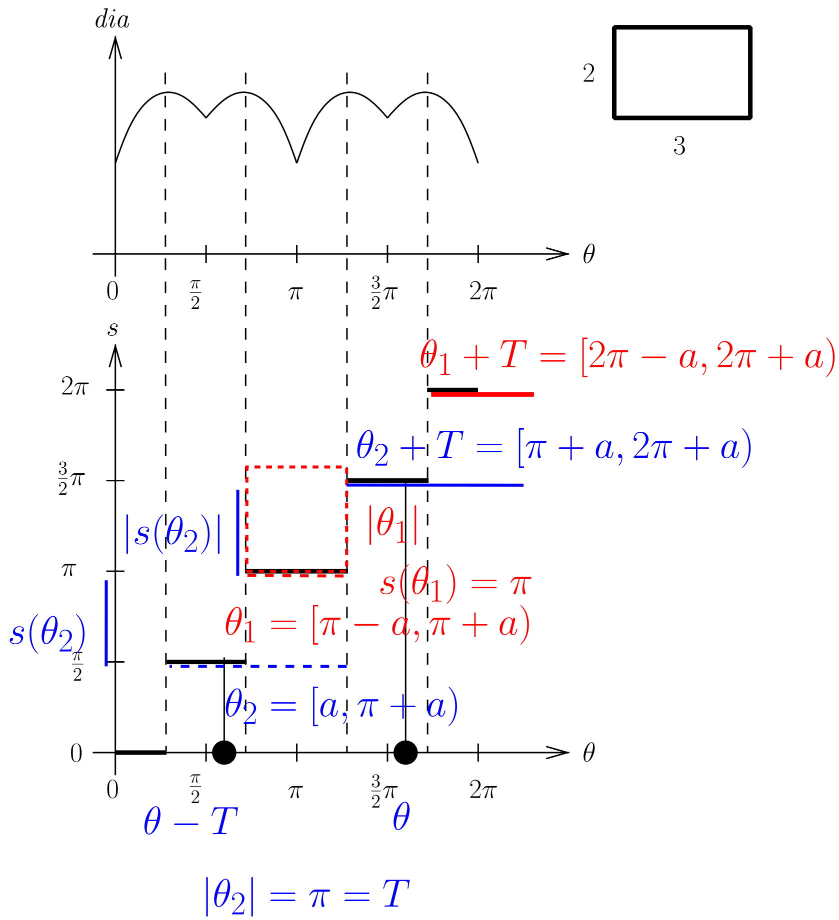
- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$,
  $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$,
  $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$
  Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?
- $\xi_1 + T \leq s(\theta) - s(\xi_2 + T) + \xi_1 + T \leq \nu_1 + T$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1 + T)$



- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$, $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$, $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$ Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?
- $\xi_1 + T \leq s(\theta) - s(\xi_2 + T) + \xi_1 + T \leq \nu_1 + T$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1 + T)$
- Mit Drehung $s(\xi_2) - \xi_1$ nach $s(\Theta_1 + T) = \pi + T$



- $\theta \notin \Theta_2$, $\theta \in \Theta_2 + T$
- $\Theta_2 + T := [\xi_2 + T, \nu_2 + T]$, $s(\Theta_2 + T) := [s(\xi_2 + T), s(\nu_2 + T)]$, $\Theta_1 + T := [\xi_1 + T, \nu_1 + T]$
- $|s(\Theta_2 + T)| < |\Theta_1 + T|$: $s(\theta) = \gamma$ Wie γ in $s(\Theta_1) + T = 2\pi$?
- $\xi_1 + T \leq s(\theta) - s(\xi_2 + T) + \xi_1 + T \leq \nu_1 + T$
- $s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)$, Bereits: $s(\theta)$
- $s(s(\theta) - (s(\xi_2) - \xi_1)) \in s(\Theta_1 + T)$
- Mit Drehung $s(\xi_2) - \xi_1$ nach $s(\Theta_1 + T) = \pi + T$
- Mitte: $\varepsilon_1 = \frac{1}{2}(|\Theta_1| - |s(\Theta_2)|)$



Algorithmus allgemein!

- Berechne Durchmesserfunktion und Greiffunktion, Per. T
- Bestimme das längste s–Intervall Θ_1, über dem die Greiffunktion stetig ist. Wir legen fest, dass dieses Intervall zur Periode gehört. Setze $i := 1$.
- Solange ein s–Intervall Θ mit $|s(\Theta)| < |\Theta_i|$ und $|\Theta| \leq |T|$ existiert:

  – Setze Θ_{i+1} auf das Größte dieser s–Intervalle.
  – Inkrementiere i.

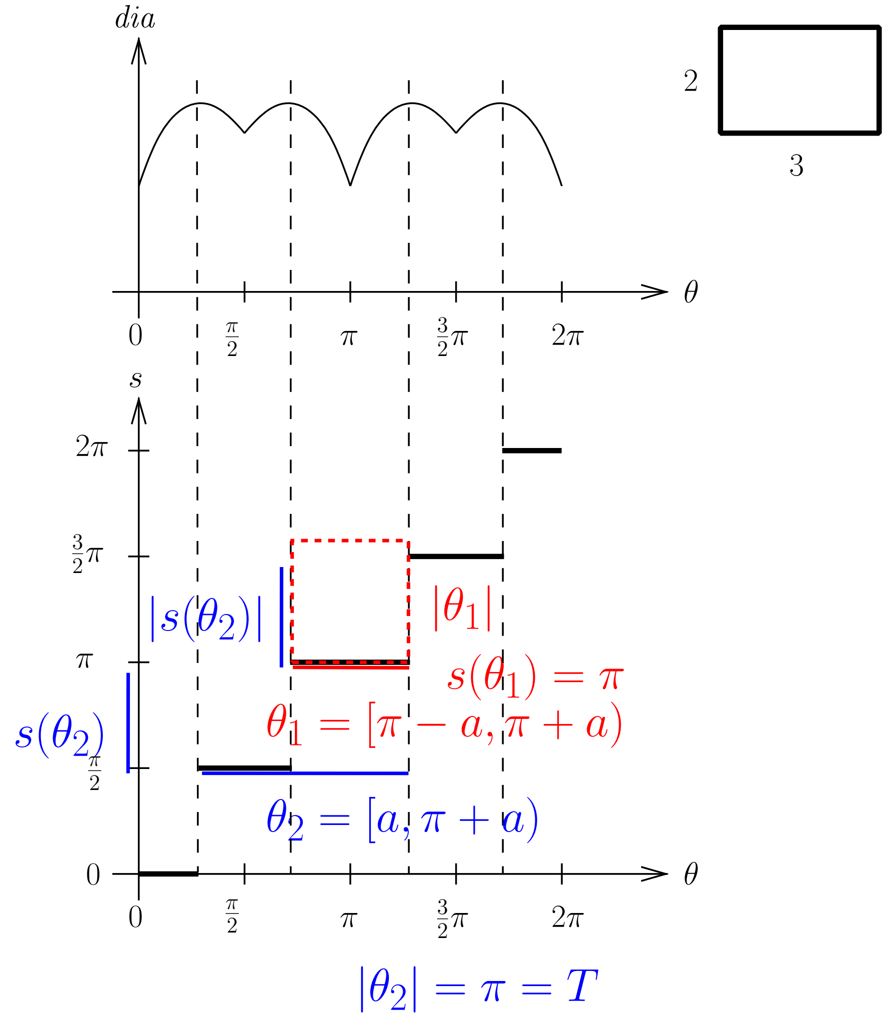
$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2, \ldots, \Theta_i)$ mit $|\Theta_i| = T$.

- Berechne aus L einen Plan $\mathcal{A} = (\alpha_i, \alpha_{i-1}, \ldots, \alpha_1)$:
  - $\alpha_i := 0$.
  - Für $j = i-1, i-2, \ldots, 1$: $\alpha_j := s(\xi_{j+1}) - \xi_j - \varepsilon_j + \alpha_{j+1}$. Dabei ist $\varepsilon_j = \frac{1}{2}\left(|\Theta_j| - |s(\Theta_{j+1})|\right)$ eine Fehlertoleranz, u.a. zur Vermeidung instabiler Gleichgewichte.

Beispiel Alg.!

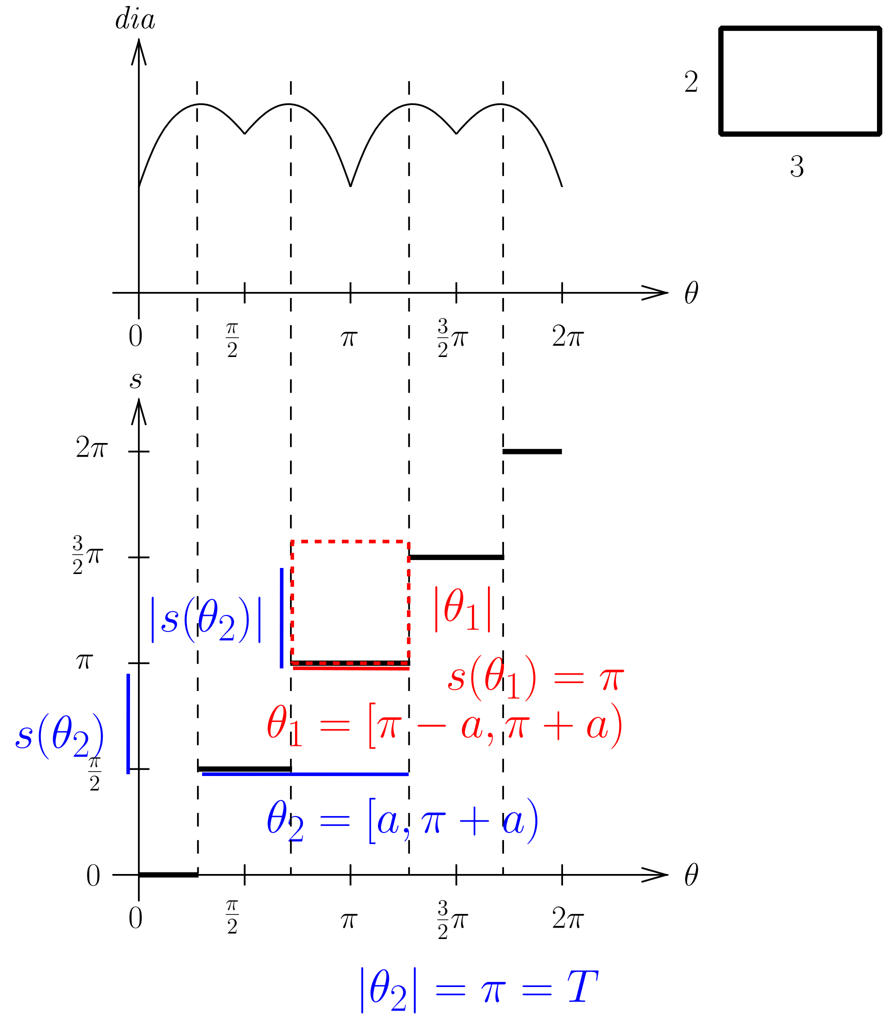
- Ber. Durchmesserfkt./Greiffkt.
- Bestimme längstes s–Intervall Θ_1, Greiffunktion stetig
- Solange s–Intervall Θ mit $|s(\Theta)| < |\Theta_i|$ ex.:
  - Setze Θ_{i+1} auf das Größte dieser s–Intervalle.
  - Inkrementiere i.

$\Rightarrow$ Liste $L = (\Theta_1, \Theta_2)$, $|\Theta_2| = T$.

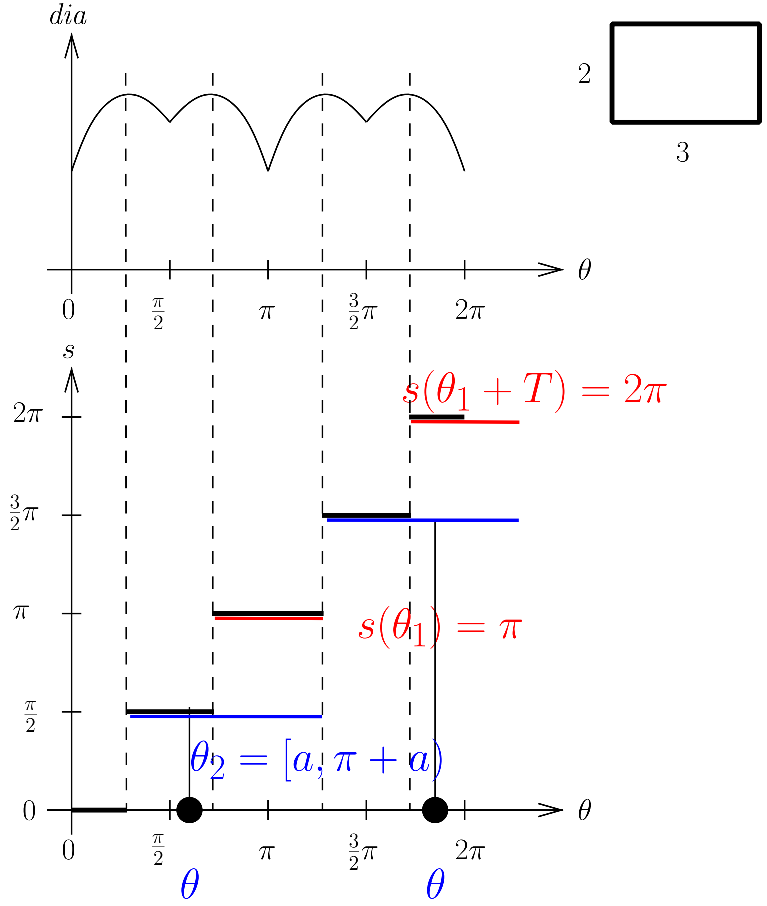


Beispiel Alg.!

- $a := \arctan(3/2)$
- $L = ([\pi - a, \pi + a], [a, \pi + a])$
  mit $|\Theta_2| = T$, $i = 2$.
  $L = ([\xi_1, \nu_1], [\xi_2, \nu_2])$.
- Plan $\mathcal{A} = (\alpha_i, \alpha_{i-1}, \ldots, \alpha_1)$:
  - $\alpha_i = \alpha_2 = 0$!
  - Für $j = i-1, i-2, \ldots, 1$:
    $\alpha_j := s(\xi_{j+1}) - \xi_j - \varepsilon_j + \alpha_{j+1}$.
    $\varepsilon_j = \frac{1}{2}(|\Theta_j| - |s(\Theta_{j+1})|)$
    Fehlertoleranz!
  - $\alpha_2 := 0$, $\alpha_1 := \pi/2 - (\pi - a) + 0 - 1/2(2a - \pi/2) = -\pi/4$

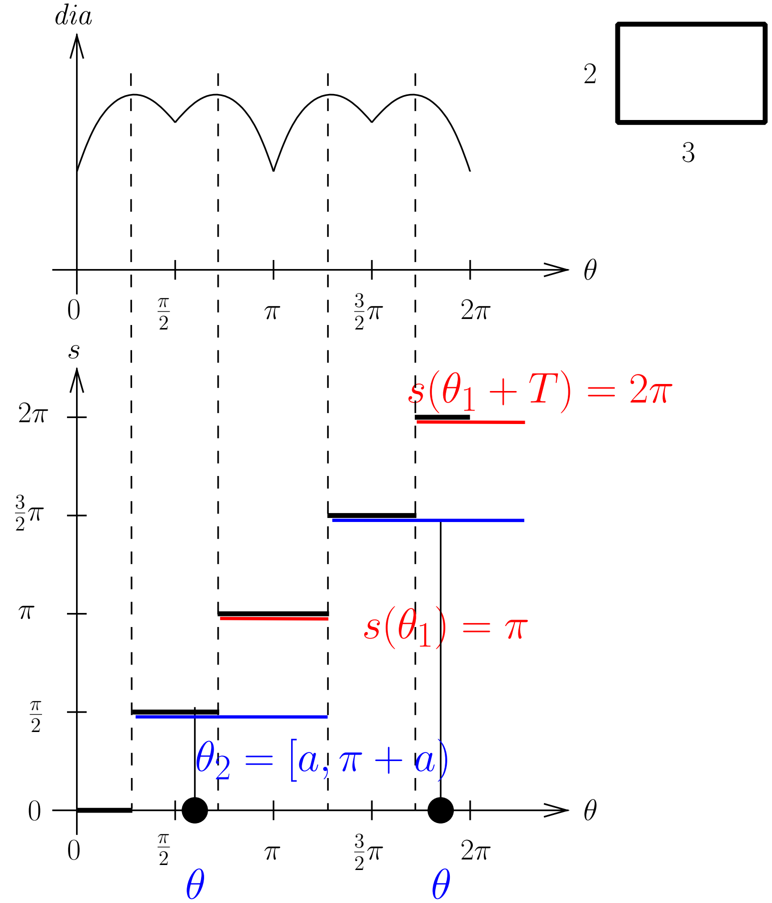


Bis auf Symmetrie!



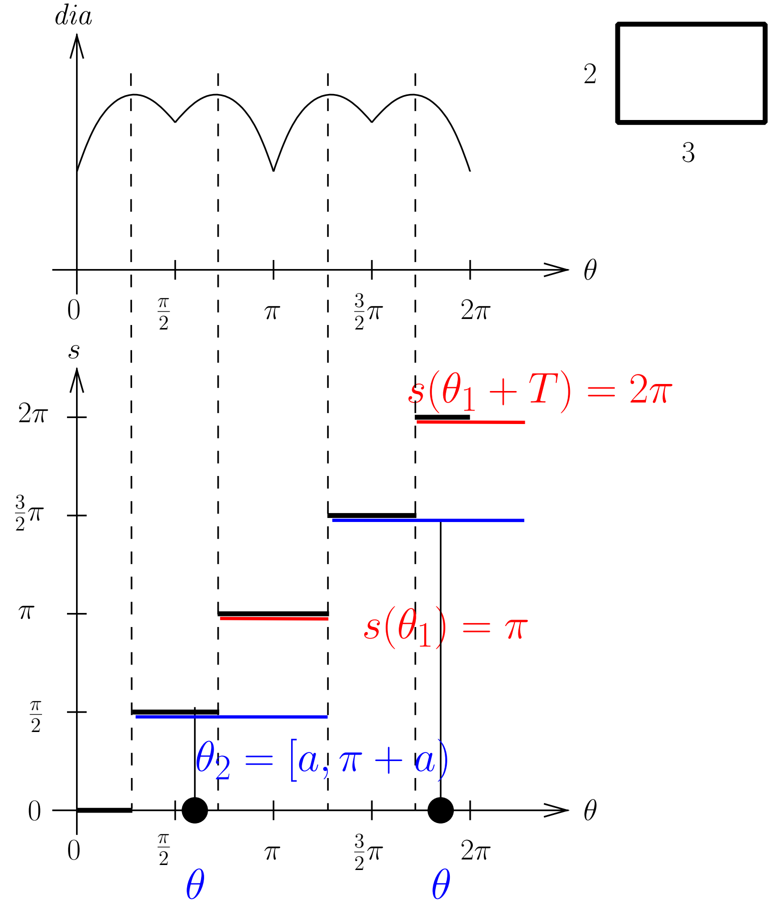
Bis auf Symmetrie!

- Plan: $\alpha_2 = 0$, $\alpha_1 = -\pi/4$



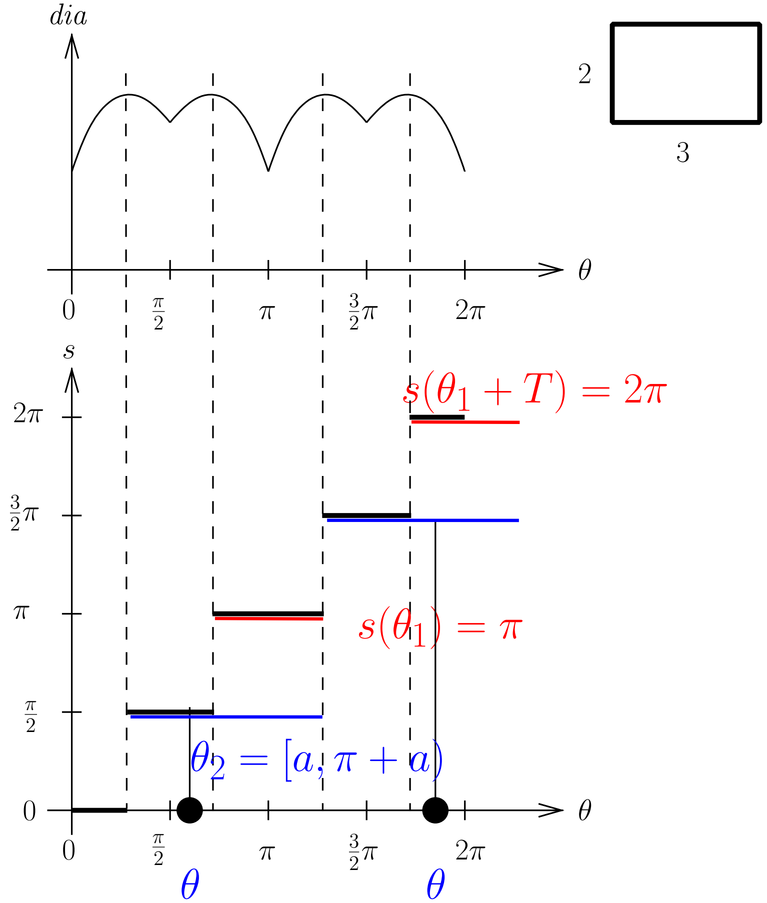
Bis auf Symmetrie!

- Plan: $\alpha_2 = 0$,
  $\alpha_1 = -\pi/4$
- $a := \arctan(3/2)$



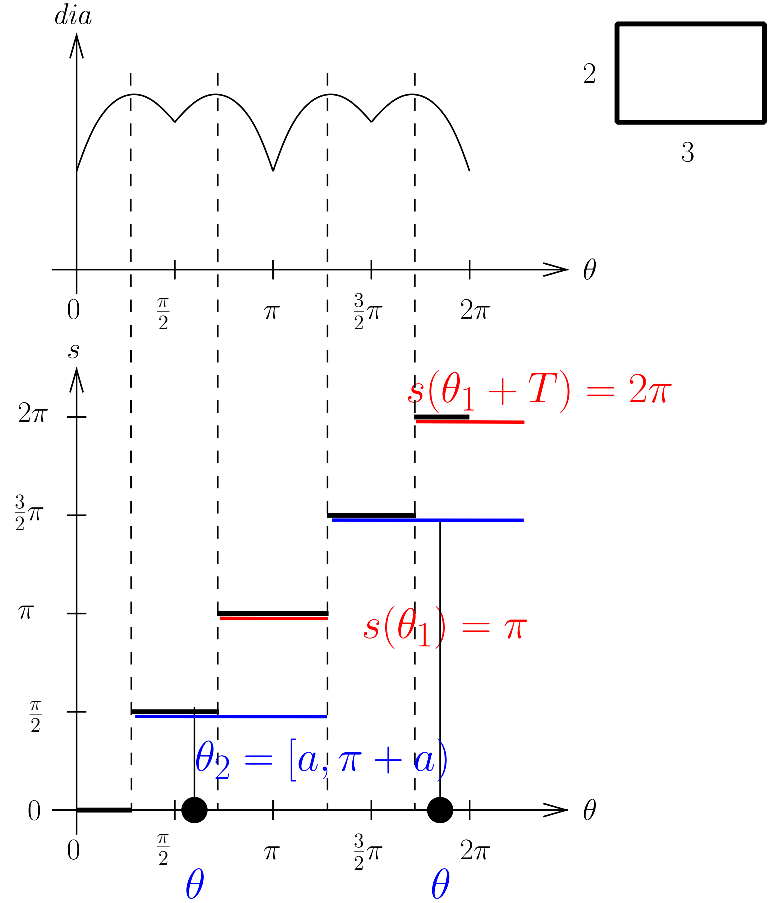
Bis auf Symmetrie!

- Plan: $\alpha_2 = 0$,
  $\alpha_1 = -\pi/4$
- $a := \arctan(3/2)$
- $\theta \in [a, \pi + a]$ nach π



Bis auf Symmetrie!

- Plan: $\alpha_2 = 0$,
  $\alpha_1 = -\pi/4$
- $a := \arctan(3/2)$
- $\theta \in [a, \pi + a]$ nach π
- $\theta \in [\pi + a, a]$ nach
  $2\pi = 0$



Ergebnis: Theorem 4.5!

Ergebnis: Theorem 4.5!

Gegeben sei eine Liste von n Kanten, die die konvexe Hülle eines gegebenen Werkstücks repräsentieren. Dann läßt sich in Zeit $O(n^2 \log n)$ die kürzeste Sequenz von Greifaktionen finden, die eine Orientierung des Werkstücks bis auf Symmetrie garantiert. Der gefundene Plan hat eine Länge von $O(n^2)$.