

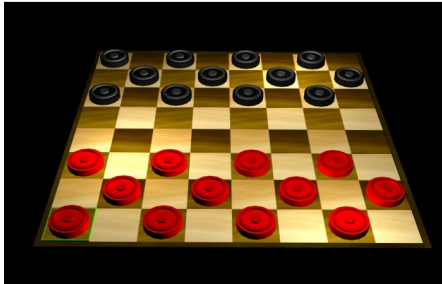
# Solving Checkers

## 18 Jahre Rechnen für ein Unentschieden

Niklas Büscher



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT

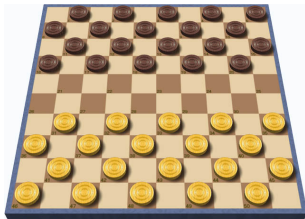


= D



1. **Checkers / Dame**
2. **Solving**
3. **Historischer Ablauf**
4. **Fazit / Diskussion**

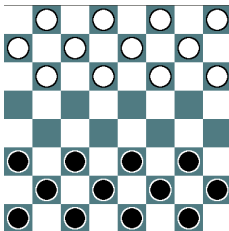
- ▶ Klassisches, strategisches Brettspiel, 10. oder 11. Jahrhundert
- ▶ Checkers (AE), Draughts (BE)
- ▶ Spielsteine <-> men/checkers, Dame <-> King
- ▶ Checkers: 8x8
- ▶ Internationale Dame (Dame 100): 10x10



# Checkers Regeln



- ▶ Spielstein nur ein Feld weit diagonal nach vorne ziehen
- ▶ Schlagen durch Überspringen eines Steines
- ▶ Es gilt Schlagzwang
- ▶ Kaskadierendes Schlagen
- ▶ Spielstein auf vorderster Reihe wird zur Dame
- ▶ Dame darf zusätzlich rückwärts ziehen und schlagen
- ▶ Verloren hat der, der keine Steine mehr hat



# Checkers Regeln

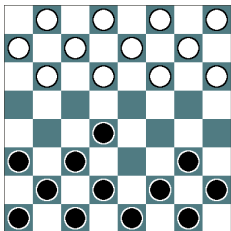


Abbildung: Nach 1 ply [w]

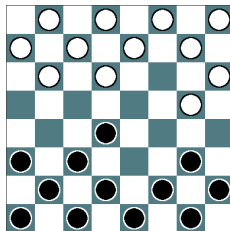


Abbildung: Nach 2 ply [s]

# Checkers Regeln

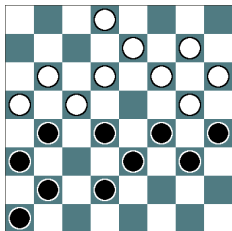


Abbildung: Mehrfaches Schlagen [w]

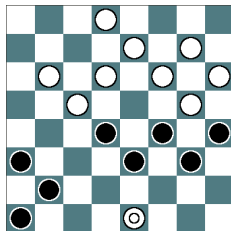


Abbildung: Spielstein → Dame [s]

# Checkers Regeln

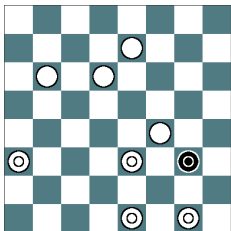


Abbildung: 1ply vor Niederlage [w]

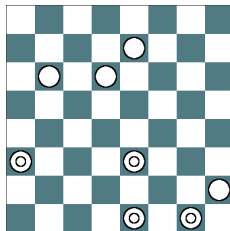


Abbildung: Verloren, Weiß gewinnt!

# Checkers

## Herausforderung und Komplexität

- ▶ Spiel mit vollständigen Informationen
- ▶ Space complexity: ca.  $5 * 10^{20}$

Spielsteine	Anzahl möglicher Positionen
1	120
2	6.972
...	...
23	129.406.908.049.181.900.800
24	90.072.726.844.888.186.880
Total	500.995.484.682.338.672.639

$AnzahlPosition(1)$  = Möglichkeiten für Dame und Spielstein in weiß oder schwarz

$AnzahlPosition(1) = 32 + 32 + 28 + 28$

$AnzahlPosition(2) = DwDw + DsDs + DwDs + SwSw + SsSs + DwSw \dots$



# Checkers

## Herausforderung und Komplexität

- ▶ Space complexity: ca.  $5 * 10^{20}$
- ▶ Empirischer Verzweigungsfaktor 6,14 (Schlagpos. 1,2 , nicht Schlagpos. 7,94)
- ▶ Durchschnittliche Spieldauer 50,4 ply
- ▶ Resultierende Spielbaumkomplexität  $6,14^{50} = 10^{40}$  (Schach:  $10^{83}$ )

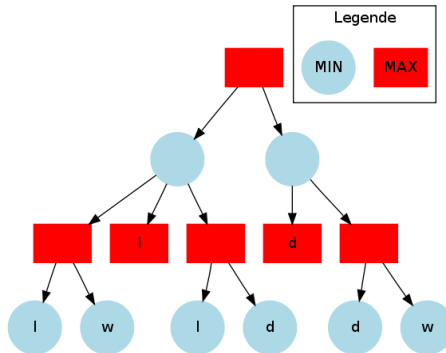
Gesucht: Effiziente Lösung



- ▶ Mathematischer Beweis

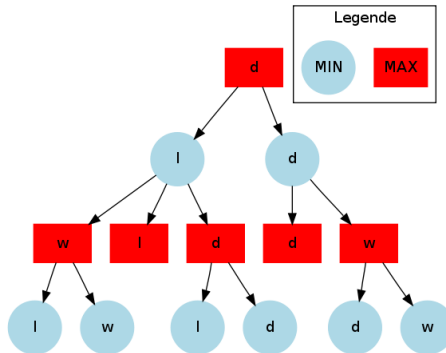
# Solving Idee

- ▶ Mathematischer Beweis
- ▶ Vollständige Auswertung des Spielbaums



# Solving Idee

- ▶ Mathematischer Beweis
- ▶ Vollständige Auswertung des Spielbaums



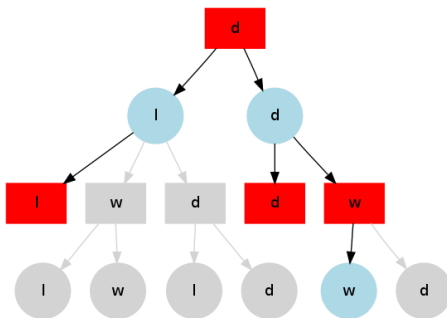
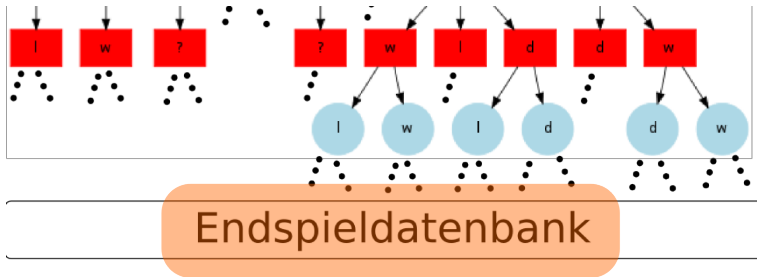


Abbildung: Reduktion des Spielbaums



# Solving Endspieldatenbank



- ▶ Bottum - Up
- ▶ Retrogradeanalyse
- ▶ höchst effizient komprimiert  
in 250 GB
- ▶ 20 Positionen pro Bit
- ▶ **Verifizierung!**

Spielsteine	Positionen
1	120
2	6.972
3	261.224
4	7.092.774
5	148.688.232
6	2.503.311.964
7	34.779.531.480
8	406.309.208.481
9	4.048.627.642.976
10	34.778.882.769.216



- ▶ Jede Stellung wird eindeutig (bijektiv) indiziert
- ▶ 4 Zustände (Gewonnen, Unentschieden, Verloren, Unbekannt) für jede Stellung

### Von 1 bis $N$ = Anzahl der Spielsteine

1. Markiere alle Stellungen als unbekannt
2. Falls nur noch Steine einer Farbe auf dem Brett, markiere Gewonnen/Verloren
3. Betrachte alle noch als Unbekannt markierte Stellungen
4. Bestimme falls möglich Max/Min Wert (Or / And) durch Expandierung aller möglicher Züge, ggf. Ergebnis aus  $N-1$  heranziehen
5. Gab es Veränderungen, gehe zu 3
6. Markiere alle unbekannt Positionen als Unentschieden

## Parallelisierung (Lake *et al.* , 1994)

- ▶ **Anzahl:** Iteration  $i$  nach  $i-1$
- ▶ **Material:** 4W6S-Datenbank ist unabhängig zur 5W5S-Datenbank
- ▶ **Anzahl der Checker:** 5 Damen weiß, 5 Spielsteine schwarz ist unabhängig zu 5 Spielsteine weiß, 5 Damen schwarz
- ▶ **Führender Rank eines Checkers**



### Parallelisierung (Lake *et al.* , 1994)

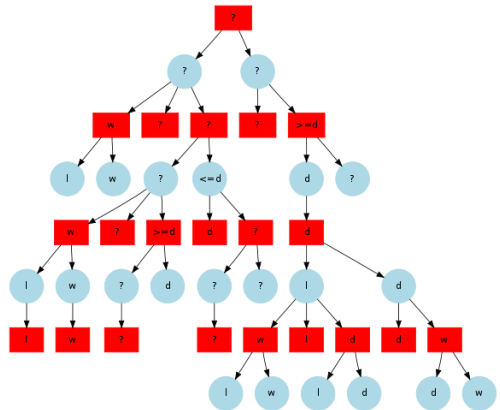
- ▶ **Anzahl:** Iteration  $i$  nach  $i-1$
- ▶ **Material:** 4W6S-Datenbank ist unabhängig zur 5W5S-Datenbank
- ▶ **Anzahl der Checker:** 5 Damen weiß, 5 Spielsteine schwarz ist unabhängig zu 5 Spielsteine weiß, 5 Damen schwarz
- ▶ **Führender Rank eines Checkers**

### Komprimierung (Schaeffer *et al.* , 2004)

- ▶ 156 Positionen pro Byte
- ▶ Entfernung eindeutige Schlagpositionen
- ▶ Run-Length-Encoding (auf Zugriff optimiert)

# Solving Proof Manager

- ▶ *Master*
- ▶ Verwaltung des Beweisbaums
- ▶ Proof-Number-Search
- ▶ Proof Solver
  1. Chinook, schnell
  2. Proof-Number, langsam



# Proof Number Search

- ▶ Best-First Search
- ▶ Proof = 0, Disproof =  $\infty$
- ▶ Hohe Werte für viele Spielsteine
- ▶ Niedrige Werte für hohe Materialdifferenz
- ▶ *wandering pieces problem*, Warning Flag

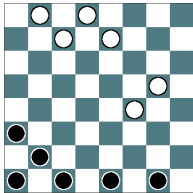


Abbildung: "Gute Position"  $pn = \downarrow$

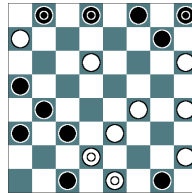
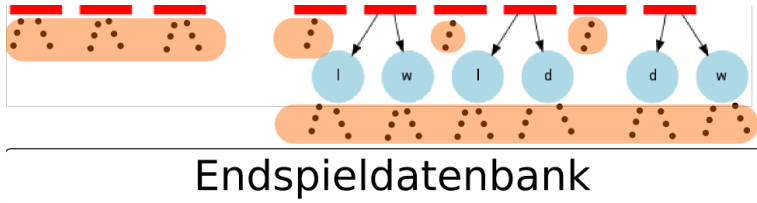


Abbildung: "Schlechte Position"  $pn = \uparrow$





- ▶ Checkers AI 1994, besser als Weltmeister

- ▶ Checkers AI 1994, besser als Weltmeister

## Komponenten

- ▶ parallel  $\alpha - \beta$  -Search, 17-23 ply + Search Extension
- ▶ Evaluierungsfunktion
- ▶ Endspieldatenbank
- ▶ Eröffnungsbuch
- ▶ Schnell zum Beweisen von Sieg und Niederlage



# Proof Solver

## Chinook - Evaluierungsfunktion

“The evaluation function remains a linear combination of roughly two dozen major components, each of which contains several heuristic weights. Attempts have been made to tune the weights of the evaluation function through automated processes, such as using linear equations, neural nets and genetic algorithms. **Although these traditional artificial intelligence approaches appear promising in the literature, in our experience they cannot compete with the results of hand-tuning** (although in other domains, such as Othello (Lee and Mahajan 1990) and backgammon (Tesauro 1995), some of these techniques have been effective). **We wish never to have to hand-tune an evaluation function again!**” (Schaeffer *et al.* , 1992)

# Proof-Manager

## Iterativer Ansatz

- ▶ Heuristischer Grenzwert  $h$
- ▶  $h$  wird iterativ erhöht
- ▶  $> h \rightarrow$  likely win
- ▶  $< -h \rightarrow$  likely loss
- ▶  $-h < x < h$  von Interesse

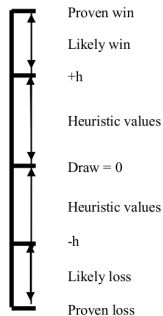


Abbildung: Heuristik (Schaeffer *et al.*, 2005)

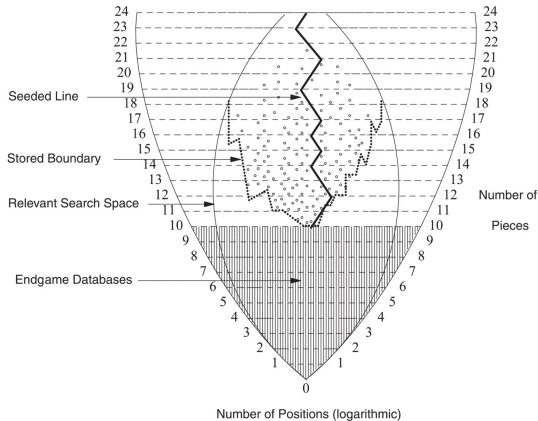


Abbildung: Suchraum (Schaeffer, 2007)

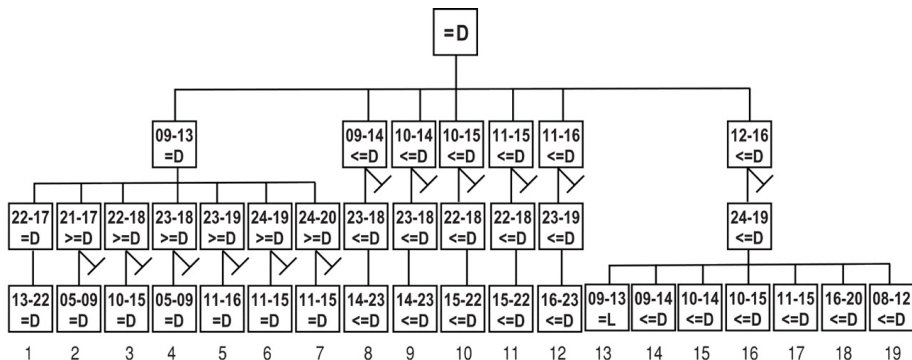


Abbildung: Lösung (Schaeffer, 2007)

# Solving Checkers

## Zeitlicher Ablauf

- ▶ 1989 4 Steine Datenbank (7 Millionen Positionen) für Chinook
- ▶ 1990 6 Steine Datenbank, Chinook wird Zweiter im World Checkers Championship nach Marion Tinsley
- ▶ 1991 7 Steine Datenbank (35 Milliarden Positionen)
- ▶ 1992 Chinook verliert sehr knapp gegen Tinsley mit Teilen der 8 Steine Datenbank
- ▶ 1994 Chinook gewinnt den zweiten Man-Machine World Checkers Championship, Tinsley muss nach 6 Spielen aufgeben
- ▶ 1997 8 Steine Datenbank (406 Milliarden Positionen)
- ▶ 1997-2001 Zwangspause bis Etablierung der 64-bit Technologie
- ▶ 2004 5-5 Steine Datenbank vollständig
- ▶ 2005 Die erste Eröffnung ist vollständig gelöst (White-Doctor)
- ▶ 2005 Die 10 Steine Datenbank wird fertiggestellt
- ▶ 2007 Vollständige Lösung von Dame ist abgeschlossen, ca. 6 Monate Verifizierung der Ergebnisse



## Gezeigt wurde:

- ▶ Wie löst man ein Spiel, im besonderen Dame, effizient
- ▶ Algorithmen und Strukturen um dieses Ziel zu erreichen
- ▶ Probleme mit einem großen Suchraum ( $10^{20}$ ) sind durchaus lösbar

## Gezeigt wurde:

- ▶ Wie löst man ein Spiel, im besonderen Dame, effizient
- ▶ Algorithmen und Strukturen um dieses Ziel zu erreichen
- ▶ Probleme mit einem großen Suchraum ( $10^{20}$ ) sind durchaus lösbar

## Offene Punkte sind:

- ▶ Wie ist die technische Umsetzung (Parallelität)?
- ▶ Gibt es verbesserungswürdige Punkte?
- ▶ Gibt es vielleicht andere, effizientere Ansätze?
- ▶ Wie ist die Übertragbarkeit auf andere Spiele?

**Konsequenz für die (Dame-) Spieler?**

...

...

**Wie sinnvoll ist so eine Arbeit, so ein Aufwand für die Informatik?**





---

Lake, R., Schaeffer, J., & Lu, P. 1994.

Solving large retrograde analysis problems using a network of workstations.  
*Advances in Computer Chess*, **7**, 135–162.

Schaeffer, J. 2007.

Game over: Black to play and draw in checkers.  
*ICGA Journal*.

Schaeffer, J., Culberson, J., Treloar, N., Knight, B., Lu, P., & Szafron, D. 1992.

A world championship caliber checkers program.  
*Artificial Intelligence*, **53**(2-3), 273–289.

Schaeffer, J., Bjuornsson, Y., Burch, N., Lake, R., Lu, P., Sutphen, S., & Edmonton, A. 2004.

**BUILDING THE CHECKERS 10-PIECE ENDGAME DATABASES.**

*Page 193 of: Advances in computer games: many games, many challenges:*



---

*proceedings of the ICGA/IFIP SG16 10th Advances in Computer Games Conference (ACG 10), November 24-27, 2003, Graz, Styria, Austria.*  
Springer Netherlands.

Schaeffer, J., Bjornsson, Y., Burch, N., Kishimoto, A., Muller, M., Lake, R., Lu, P., & Sutphen, S. 2005.  
Solving checkers.  
*Page 292 of: International Joint Conference on Artificial Intelligence*, vol. 19.  
Citeseer.

Schaeffer, J., Burch, N., Bjornsson, Y., Kishimoto, A., Muller, M., Lake, R., Lu, P., & Sutphen, S. 2007.  
Checkers is solved.  
*Science*, **317**(5844), 1518.

# Proof Number Search

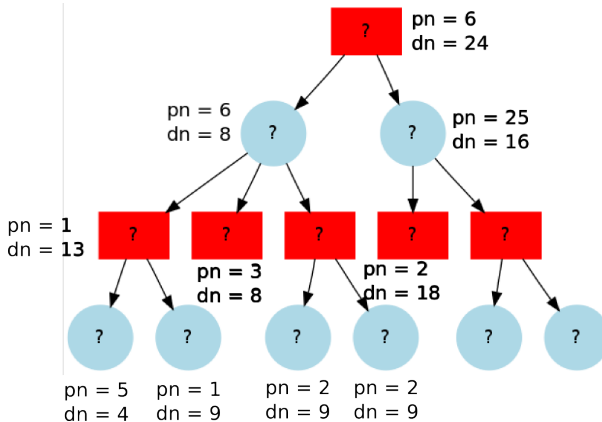


Abbildung: Beispiel PNS