Felder (Arrays) und Zeiger (Pointers) - Teil I

Felder: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren:

```
for (int i=0; i<n; ++i) {...}
```

Felder: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren:

```
for (int i=0; i<n; ++i) {...}
```

- Oft muss man aber über *Daten* iterieren (Beispiel: finde ein Kino in Zürich, das heute "*The C++ Ultimatum*" zeigt)

Felder: Motivation

- Wir können jetzt über Zahlen iterieren:
  ```
  for (int i=0; i<n; ++i) {...}
  ```
- Oft muss man aber über *Daten* iterieren (Beispiel: finde ein Kino in Zürich, das heute "*The C++ Ultimatum*" zeigt)
- Felder dienen zum Speichern von Folgen *gleichartiger* Daten (Beispiel: Spielpläne aller Zürcher Kinos)

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen < n
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18

Streiche alle echten Vielfachen von 2...

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen < n
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7		9		11		13		15		17	

Streiche alle echten Vielfachen von 2...

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7		9		11		13		15		17	

...und gehe zur nächsten Zahl

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen < n
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7		9		11		13		15		17	

Streiche alle echten Vielfachen von 3...

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen < n
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7				11		13				17	

Streiche alle echten Vielfachen von 3...

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen < *n*
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7				11		13				17	

...und gehe zur nächsten Zahl

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen

2	3		5		7				11		13				17	

Am Ende des Streichungsprozesses bleiben genau die Primzahlen übrig!

Felder: erste Anwendung

Das Sieb des Eratosthenes

- berechnet alle Primzahlen $< n$
- Methode: Ausstreichen der Nicht-Primzahlen
- Frage: wie streichen wir Zahlen aus???

mit einem Feld!

Felder: Implementierung "Sieb des Eratosthenes"

```
int main()
{
  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[999]
  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  std::cout << "Prime numbers in {2,...,999}:\n";
  for (unsigned int i = 2; i < 1000; ++i)
    if (!crossed_out[i]) {
      // i is prime
      std::cout << i << " ";
      // cross out all proper multiples of i
      for (unsigned int m = 2*i; m < 1000; m += i)
        crossed_out[m] = true;
    }
  std::cout << "\n";

  return 0;
}
```

Berechnet alle

Primzahlen < 1000

Felder: Implementierung "Sieb des Eratosthenes"

```
int main()
{
  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[999]
  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  std::cout << "Prime numbers in {2,...,999}:\n";
  for (unsigned int i = 2; i < 1000; ++i)
    if (!crossed_out[i]) {
      // i is prime
      std::cout << i << " ";
      // cross out all proper multiples of i
      for (unsigned int m = 2*i; m < 1000; m += i)
        crossed_out[m] = true;
    }
  std::cout << "\n";

  return 0;
}
```

Berechnet alle

Primzahlen < 1000

Feld: **`crossed_out[i]`** gibt an, ob i schon ausgestrichen wurde

Felder: Implementierung “Sieb des Eratosthenes”

```
int main()
{
  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[999]
  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  std::cout << "Prime numbers in {2,...,999}:\n";
  for (unsigned int i = 2; i < 1000; ++i)
    if (!crossed_out[i]) {
      // i is prime
      std::cout << i << " ";
      // cross out all proper multiples of i
      for (unsigned int m = 2*i; m < 1000; m += i)
        crossed_out[m] = true;
    }
  std::cout << "\n";

  return 0;
}
```

Berechnet alle

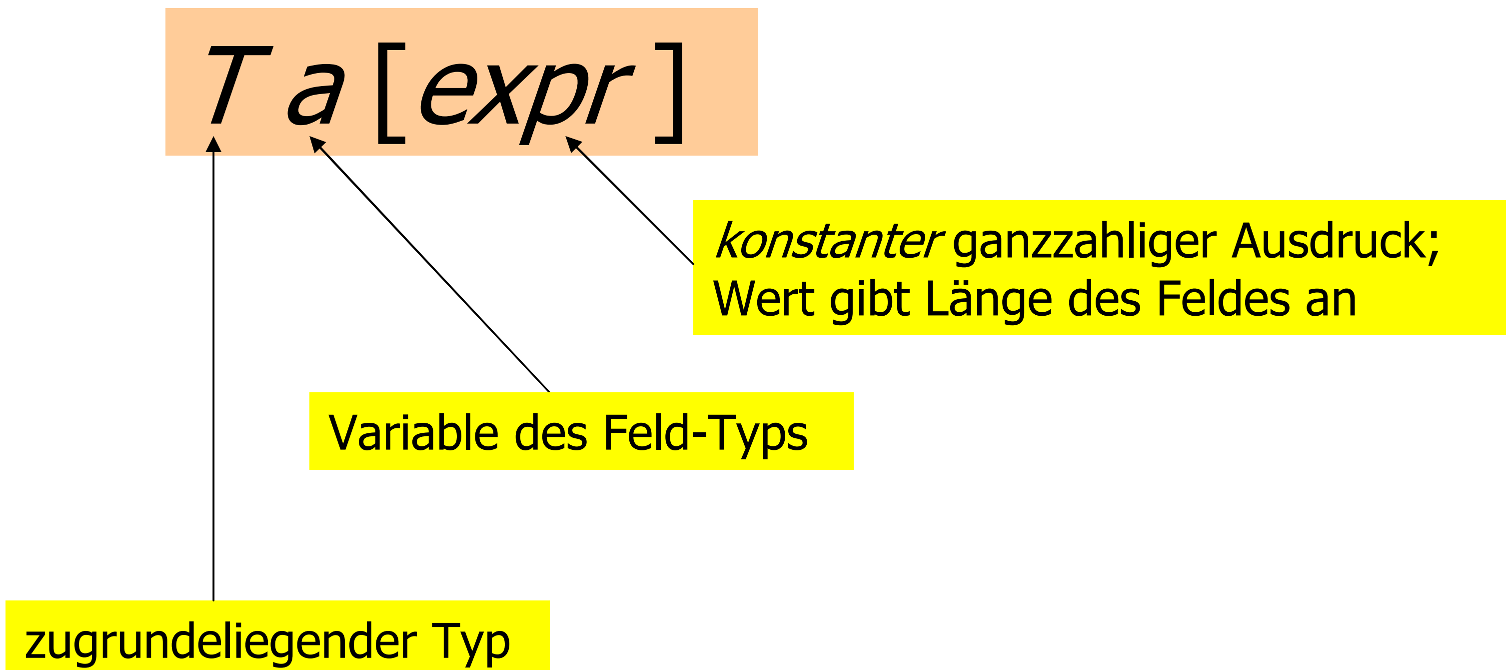
Primzahlen < 1000

Feld: `crossed_out[i]` gibt an, ob i schon ausgestrichen wurde

Das Sieb: gehe zur jeweils nächsten nichtgestrichenen Zahl `i` (diese ist Primzahl), gib sie aus und streiche alle echten Vielfachen von `i` aus

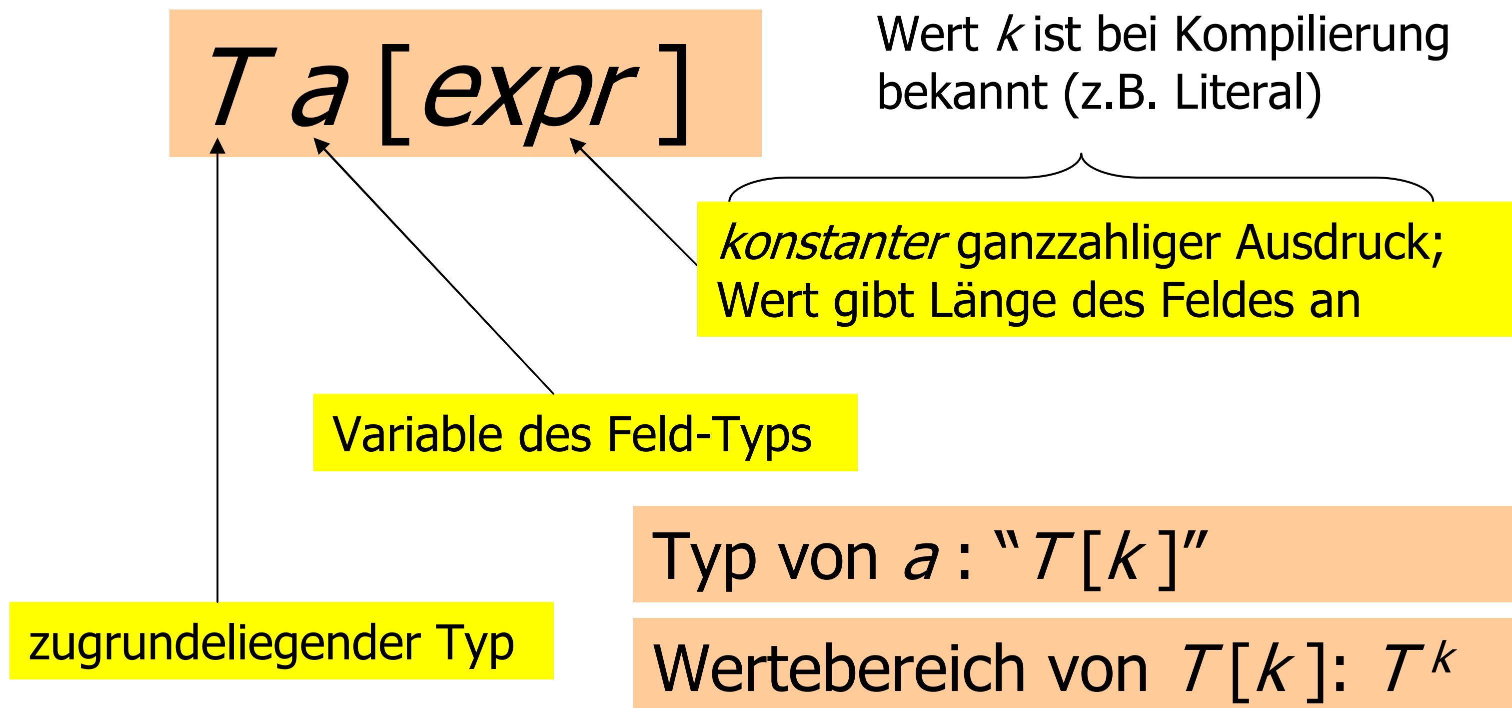
Felder: Definition

Deklaration einer *Feldvariablen* (array):



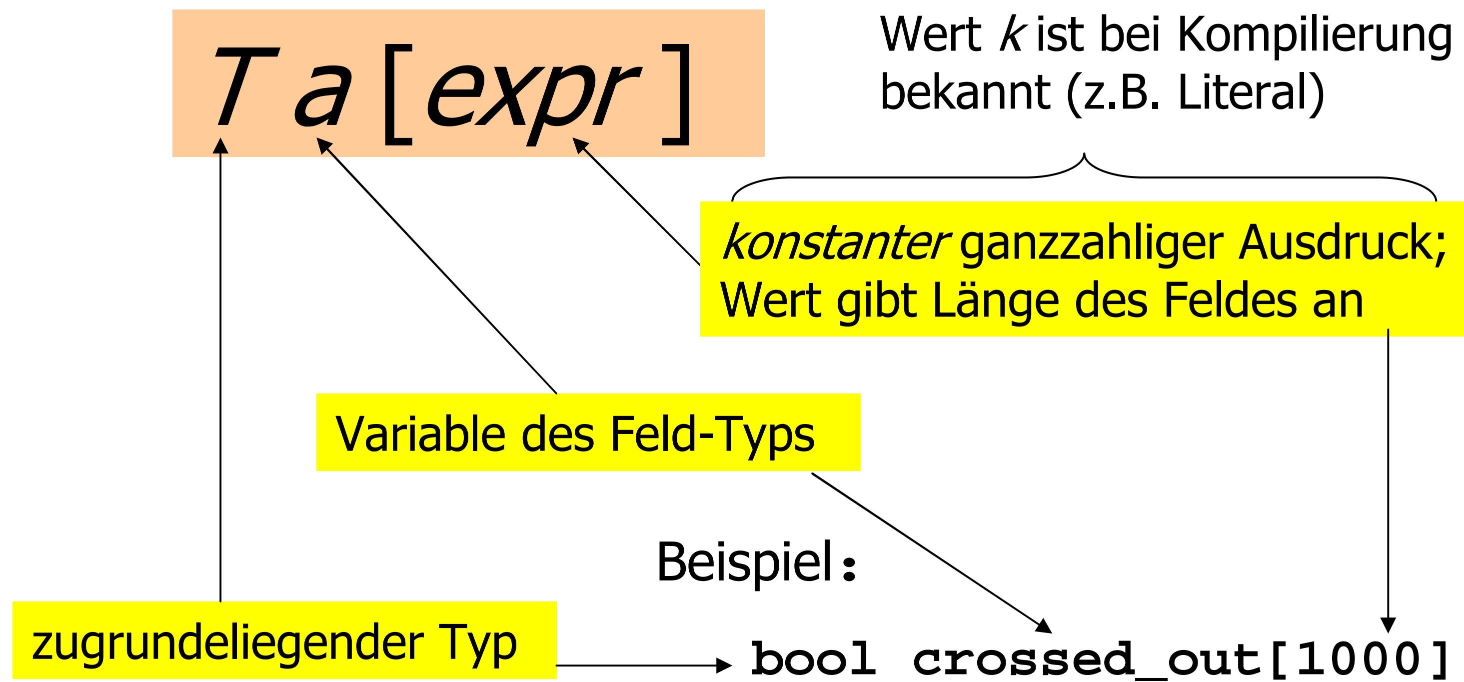
Felder: Definition

Deklaration einer *Feldvariablen* (array):



Felder: Definition

Deklaration einer *Feldvariablen* (array):



Felder variabler Länge?

Praktischer wäre:

```
int main()
{
  // input of n
  std::cout << "Compute prime numbers in [2, n) for n = ?";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[n-1]
  bool crossed_out[n];
  ...
}
```

Felder variabler Länge?

Praktischer (aber nicht erlaubt) wäre:

```
int main()
{
  // input of n
  std::cout << "Compute prime numbers in [2, n) for n = ?";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[n-1]
  bool crossed_out[n]; // Fehler!
  ...
}
```

kein konstanter Ausdruck!

Felder variabler Länge?

Praktischer (und erlaubt) wäre:

```
int main()
{
  // input of n
  std::cout << "Compute prime numbers in [2, n) for n = ?";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  // definition and initialization: provides us with
  // Booleans crossed_out[0],..., crossed_out[n-1]
  bool* crossed_out = new bool[n]; // ok!
  ...
}
```

so geht es (Erklärung folgt)!

Feld-Initialisierung

- `int a[5];`

Die 5 Elemente von **`a`** bleiben uninitialisiert (können später Werte zugewiesen bekommen)

Feld-Initialisierung

- `int a[5];`

Die 5 Elemente von **`a`** bleiben uninitialisiert (können später Werte zugewiesen bekommen)

- `int a[5] = {4, 3, 5, 2, 1};`

Die 5 Elemente von **`a`** werden mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert

Feld-Initialisierung

- `int a[5];`

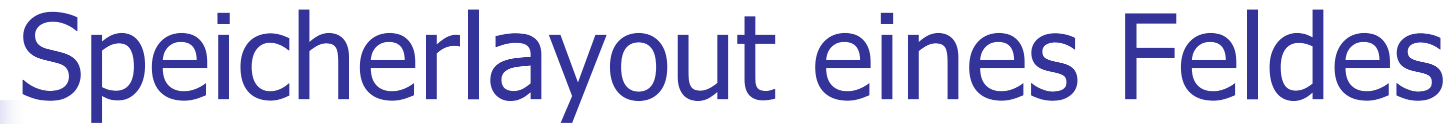
Die 5 Elemente von **`a`** bleiben uninitialisiert (können später Werte zugewiesen bekommen)

- `int a[5] = {4, 3, 5, 2, 1};`

Die 5 Elemente von **`a`** werden mit einer *Initialisierungsliste* initialisiert

auch ok; Länge wird deduziert

- `int a[] = {4, 3, 5, 2, 1};`

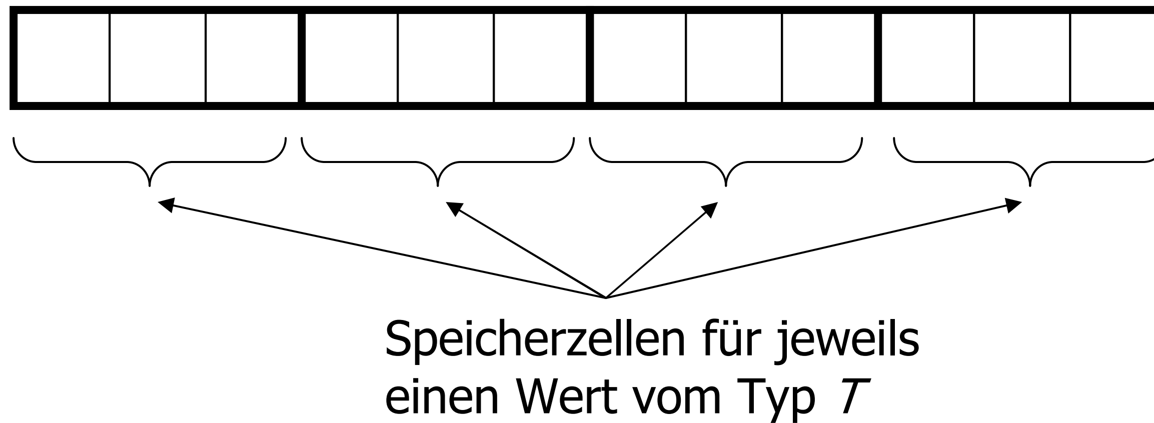


Speicherlayout eines Feldes

- Ein Feld belegt einen *zusammen-hängenden* Speicherbereich

Speicherlayout eines Feldes

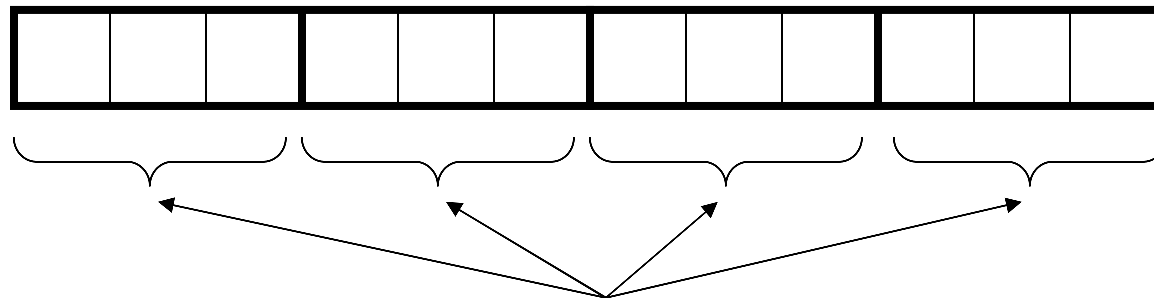
- Ein Feld belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich



Speicherlayout eines Feldes

- Ein Feld belegt einen *zusammenhängenden* Speicherbereich

Beispiel: Feld mit 4 Elementen



Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

Der L-Wert

a [*expr*]

Wert *i*

hat Typ T und bezieht sich auf das *i* –te Element des Feldes *a* (Zählung ab 0)

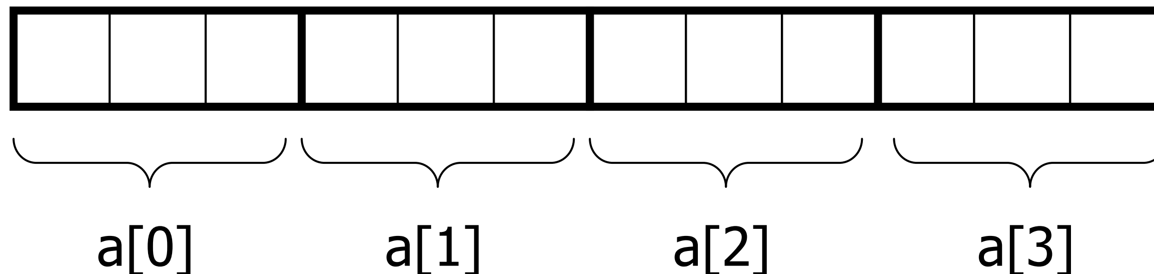
Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

Der L-Wert

a [*expr*]

Wert *i*

hat Typ T und bezieht sich auf das *i* –te Element des Feldes *a* (Zählung ab 0)



Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

a [*expr*]

Der Wert *i* von expr heisst *Feldindex*

[]: Subskript-Operator

Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

Die Deklaration

> *T a* [*expr*]

kann man deshalb auch lesen als

> "*a* [*expr*] ist vom Typ T”

Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

Die Deklaration

T a [*expr*]

implizite Definition des Typs von *a*

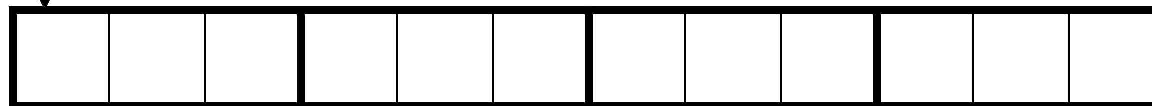
kann man deshalb auch lesen als

"*a* [*expr*] ist vom Typ T"

Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

- Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient:

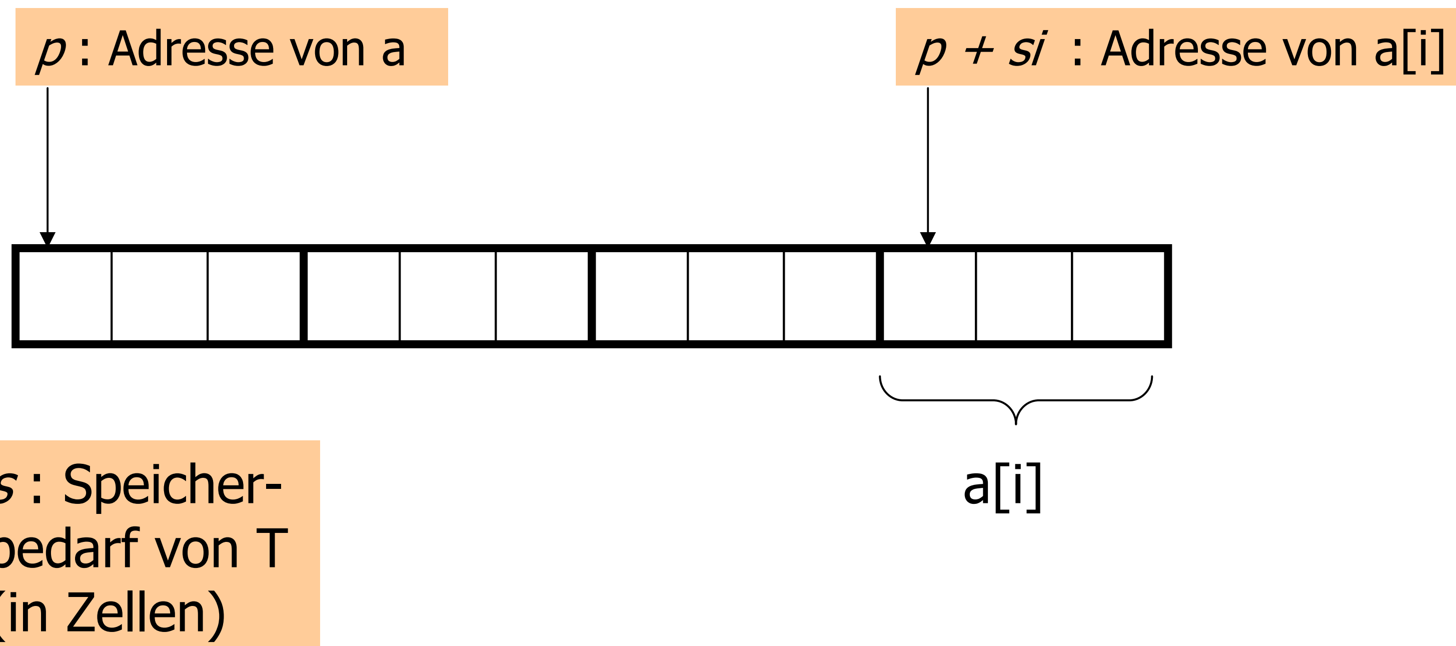
p : Adresse von a (das heisst: der ersten Speicherzelle von a)



s : Speicher-bedarf von T (in Zellen)

Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

- Wahlfreier Zugriff ist sehr effizient (Reduktion auf Adressarithmetik):



Wahlfreier Zugriff (*Random Access*)

Warnung:

Die Länge n eines Feldes kann nicht abgefragt werden, man muss sie wissen. Für jeden Feldindex i muss

$$0 \leq i < n$$

gelten, andernfalls ist das Programm-verhalten undefiniert!

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Man kann Felder nicht wie bei anderen Typen initialisieren und zuweisen:

```
int a[5] = {4,3,5,2,1};
int b[5];
b = a;          // Fehler!
int c[5] = a; // Fehler!
```

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Man kann Felder nicht wie bei anderen Typen initialisieren und zuweisen:

```
int a[5] = {4,3,5,2,1};
int b[5];
b = a;          // Fehler!
int c[5] = a; // Fehler!
```

Warum?

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Felder sind “Erblast” der Sprache C und aus heutiger Sicht primitiv

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Felder sind “Erblast” der Sprache C und aus heutiger Sicht primitiv
- Ein Feld “merkt sich” nur die Adresse des ersten Elements
  - kein Problem bei *Random Access,* aber
  - beim Initialisieren / Zuweisen ist dann nicht klar, wieviele Elemente kopiert werden müssen

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Felder sind “Erblast” der Sprache C und aus heutiger Sicht primitiv
- Ein Feld “merkt sich” nur die Adresse des ersten Elements
  - kein Problem bei *Random Access,* aber
  - beim Initialisieren / Zuweisen ist dann nicht klar, wieviele Elemente kopiert werden müssen

```
int a[5] = {4,3,5,2,1};
int b[5];
b = a; // wieviele Elemente haben a und b nochmal?
```

Felder sind nicht *selbstbeschreibend*

- Felder sind "Erblast" der Sprache C und aus heutiger Sicht primitiv
- Ein Feld "merkt sich" nur die Adresse des ersten Elements
  - kein Problem bei *Random Access,* aber
  - beim Initialisieren / Zuweisen ist dann nicht klar, wieviele Elemente kopiert werden müssen

bei legalen Indizes!

```
int a[5] = {4,3,5,2,1};
int b[5];
b = a; // wieviele Elemente haben a und b nochmal?
```

Felder als Daten-Container

Container:

- Objekt, das andere Objekte speichern kann

Felder als Daten-Container

Container:

- Objekt, das andere Objekte speichern kann...
- ...und die Möglichkeit anbietet, über die gespeicherten Objekte zu *iterieren* (Kinoprogramme...)

Felder als Daten-Container

Container:

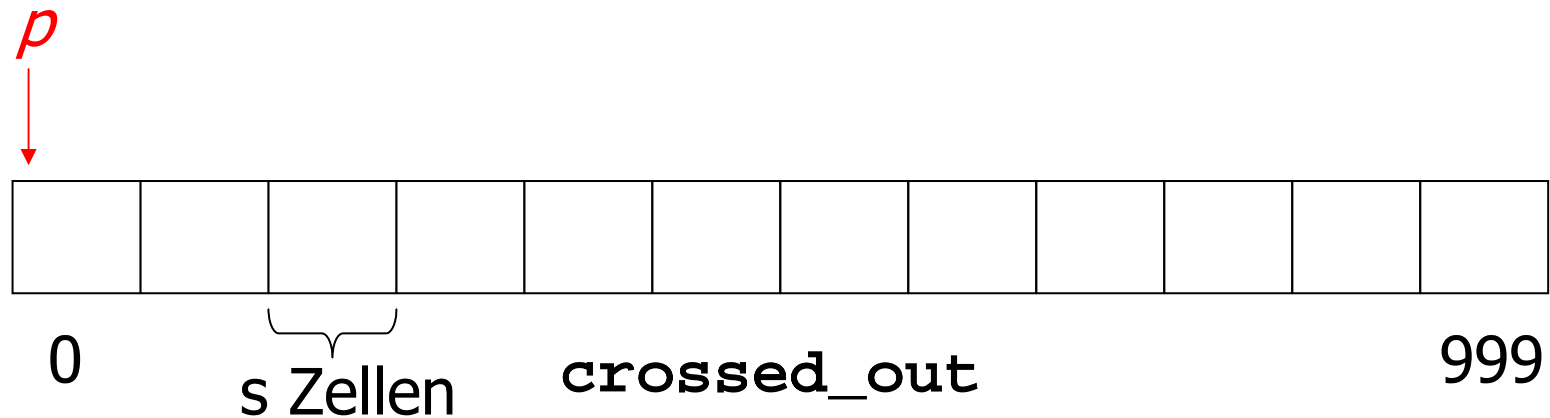
- Objekt, das andere Objekte speichern kann...
- ...und die Möglichkeit anbietet, über die gespeicherten Objekte zu *iterieren* (z.B. Kinospielpläne...)

Iteration in Feldern geht über wahlfreien Zugriff: a[0], a[1],...,a[n-1]

Iteration durch wahlfreien Zugriff

```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

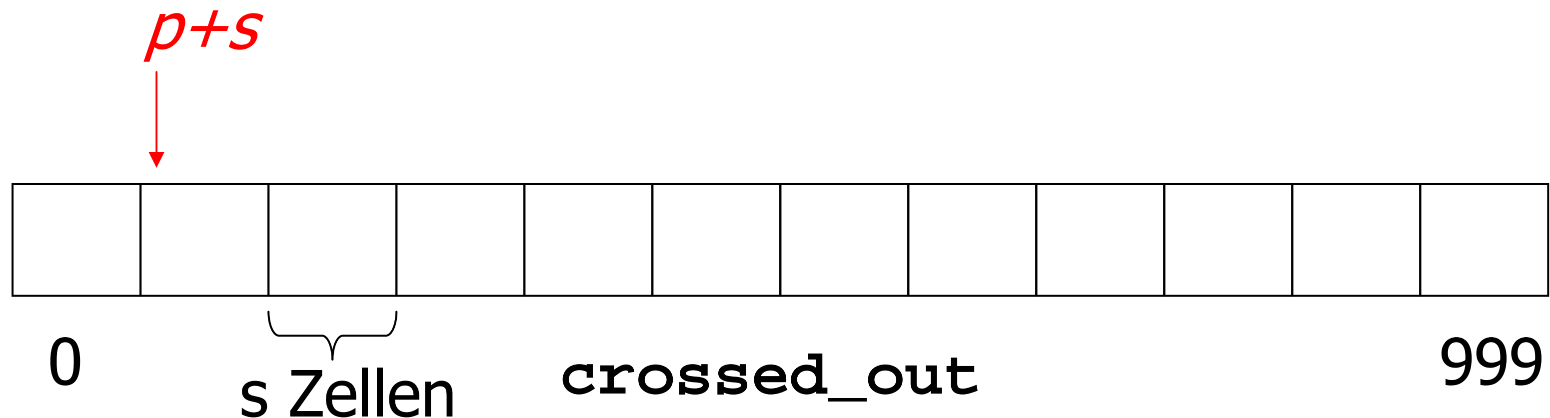
Berechnungsaufwand:



Iteration durch wahlfreien Zugriff

```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

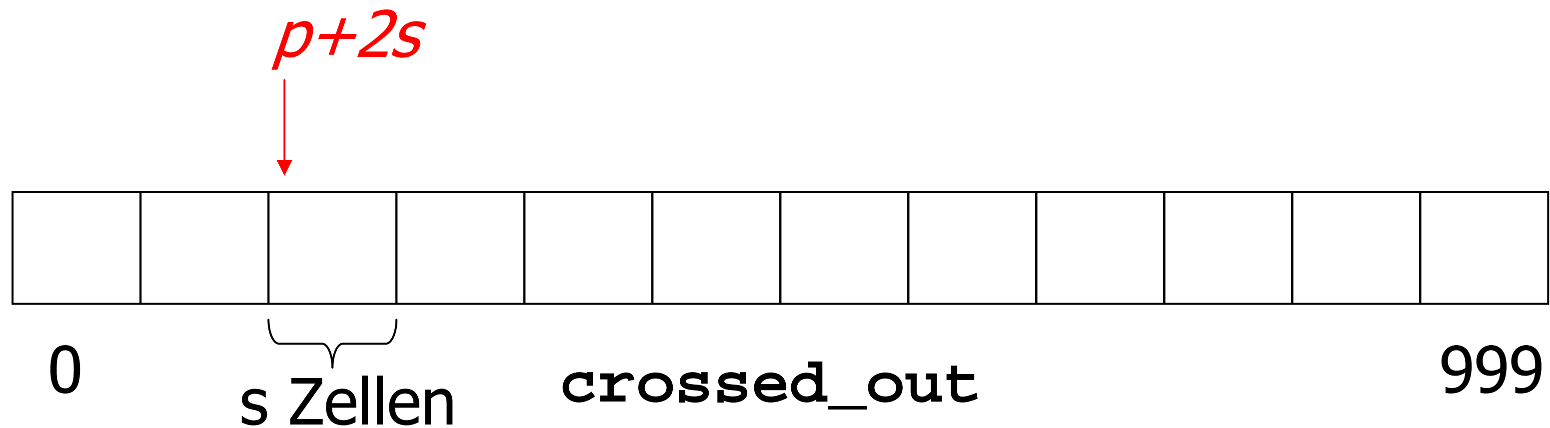
Berechnungsaufwand:



Iteration durch wahlfreien Zugriff

```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

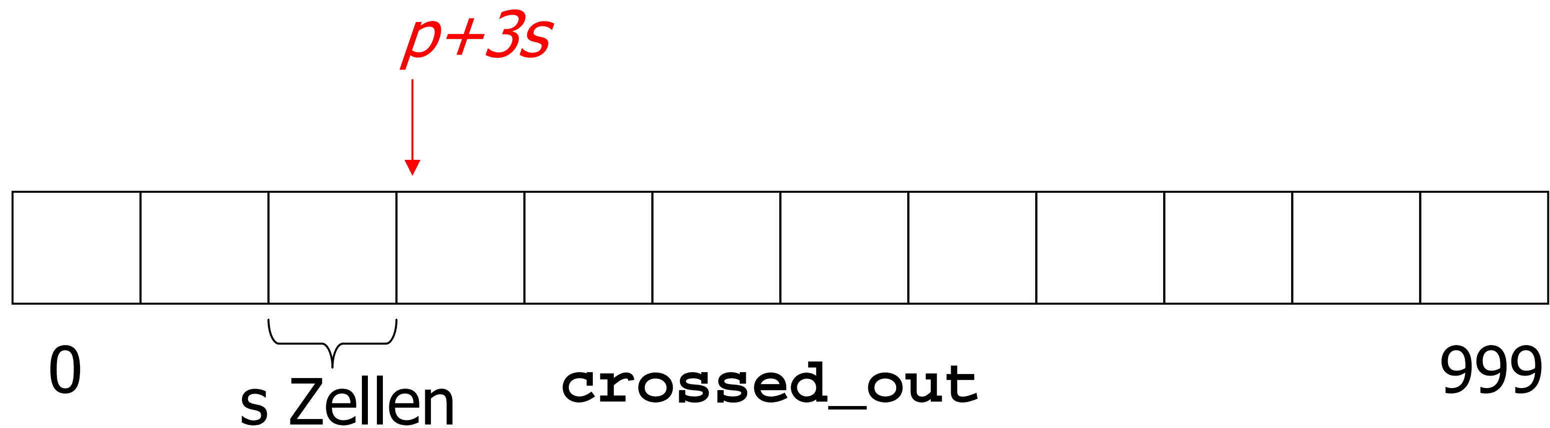
Berechnungsaufwand:



Iteration durch wahlfreien Zugriff

```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

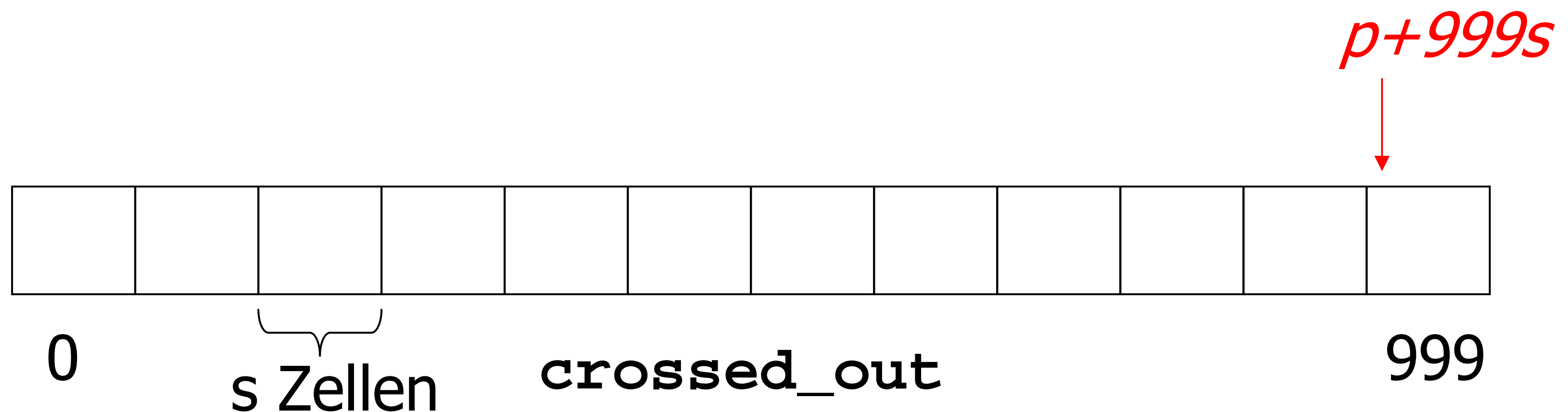
Berechnungsaufwand:



Iteration durch wahlfreien Zugriff

```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

Berechnungsaufwand:

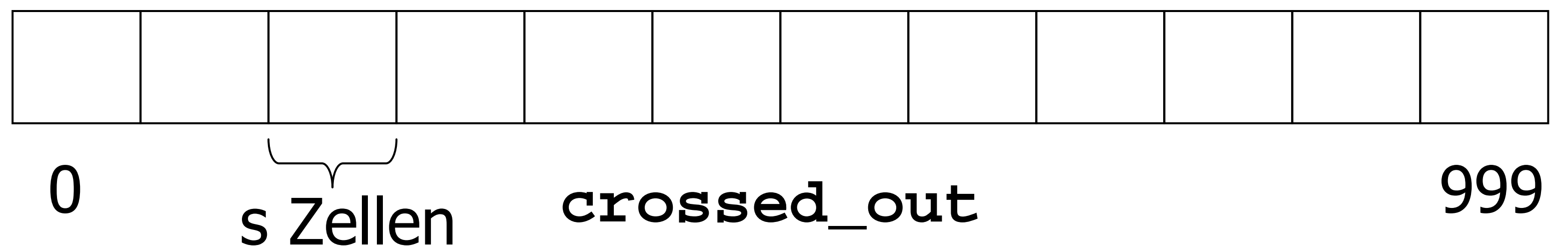


Iteration durch wahlfreien Zugriff

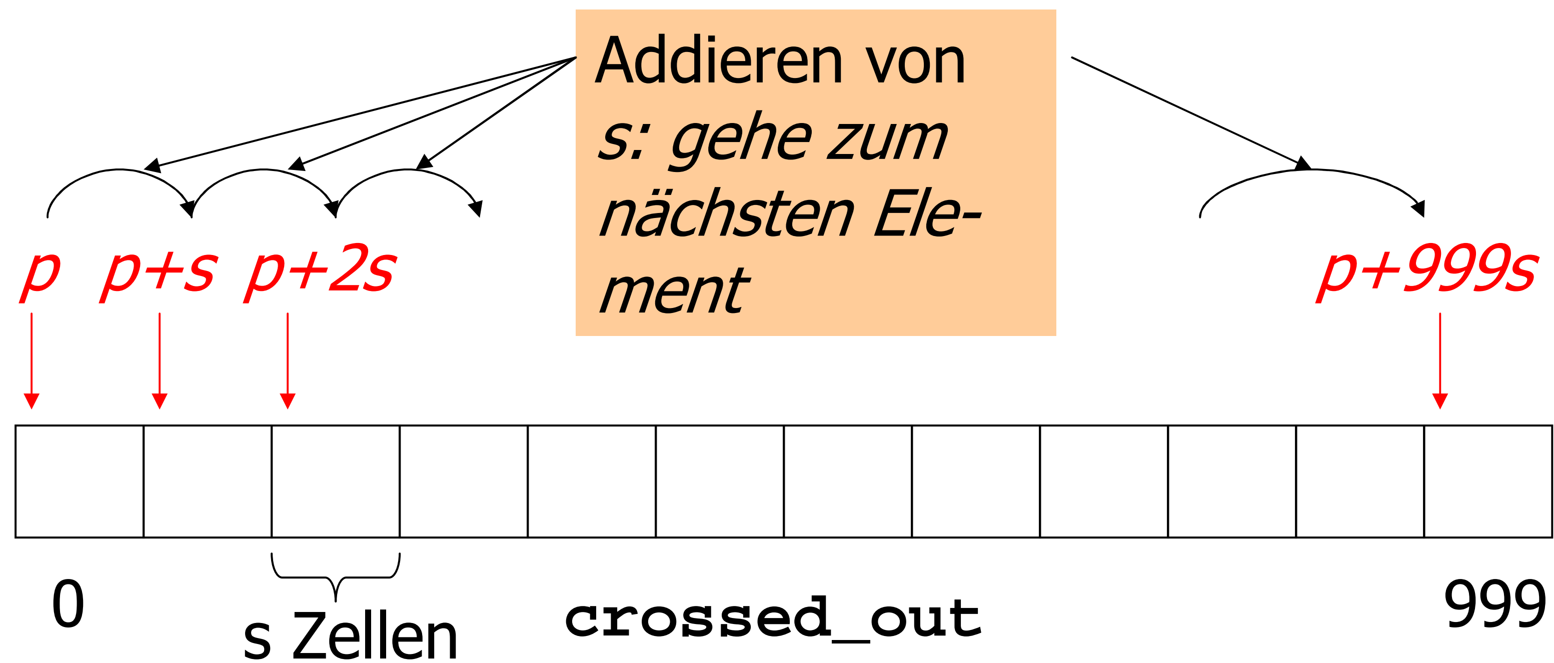
```
for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;
```

Berechnungsaufwand:

Pro Feldelement eine Addition und eine Multiplikation



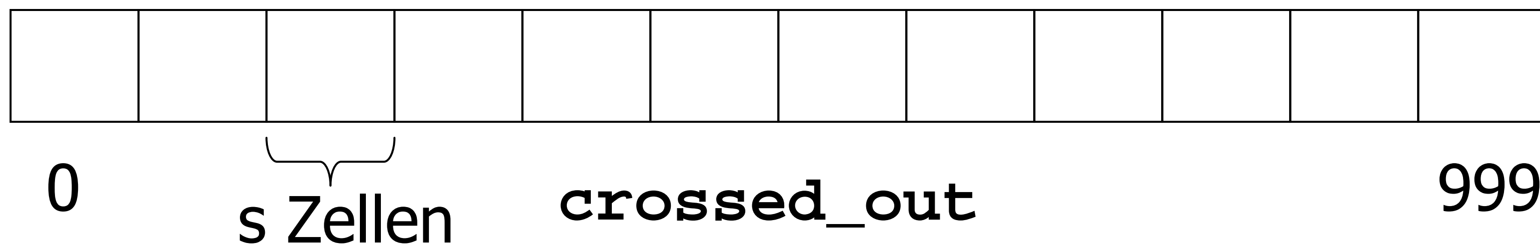
Effizientere und natürlichere Iteration



Effizientere und natürlichere Iteration

Berechnungsaufwand:

Pro Feldelement eine Addition

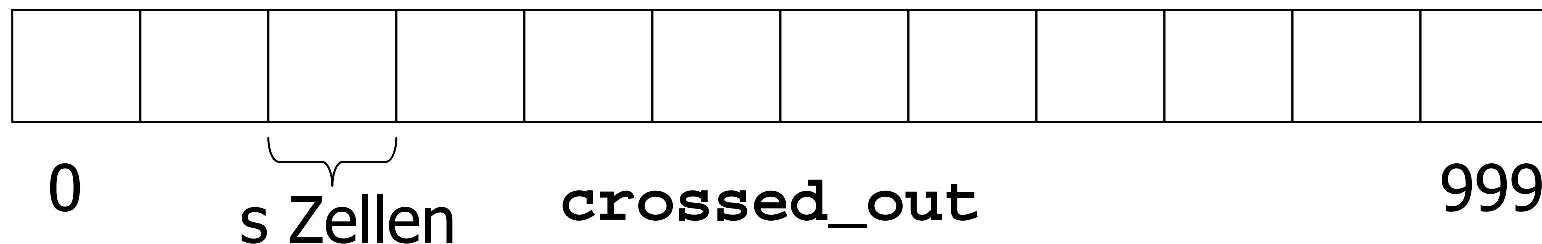


Effizientere und natürlichere Iteration durch *Zeiger*

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```

Pro Feldelement eine Addition

$p_{vorher} + s$



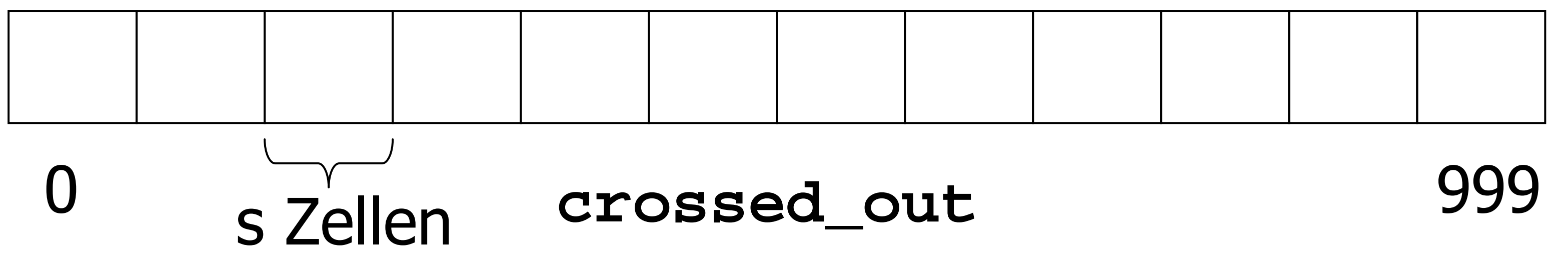
Effizientere und natürlichere Iteration durch *Zeiger*

```
bool* begin = crossed_out;      // poi... st element
bool* end = crossed_out + 1... last element
// in the loop ... ely points to all elements
for ( ... != end; ++p)
   * ... ; // *p is the element pointed to by p
```

wird noch genau erklärt!

Pro Feldelement eine Addition

$p_{vorher} + s$



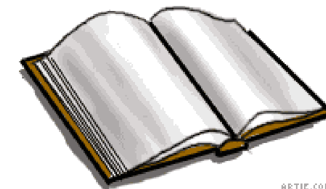
Buchlesen: Wahlfreier Zugriff vs. natürliche Iteration

Wahlfreier Zugriff:

- öffne Buch auf S.1
- klappe Buch zu
- öffne Buch auf S.2-3
- klappe Buch zu
- öffne Buch auf S.4-5
- ...

Natürliche Iteration:

- öffne Buch auf S.1
- blättere um
- blättere um
- blättere um
- blättere um
- ...



Zeiger

- erlauben das Repräsentieren von und das Rechnen mit *Adressen*

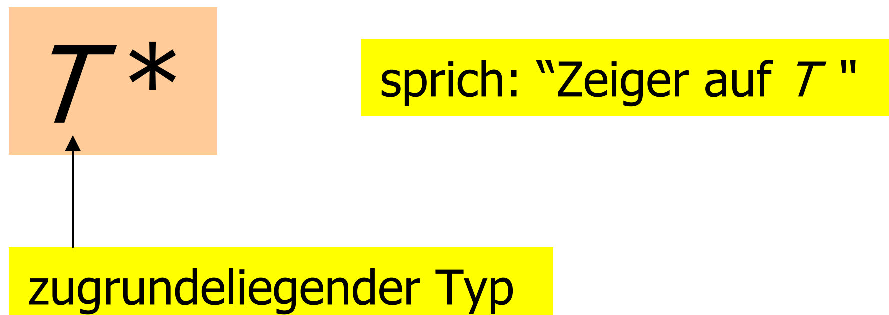
Zeiger

- erlauben das Repräsentieren von und das Rechnen mit *Adressen*
- unterstützen insbesondere die Operation "*gehe zum nächsten Element eines Feldes*"

Zeiger

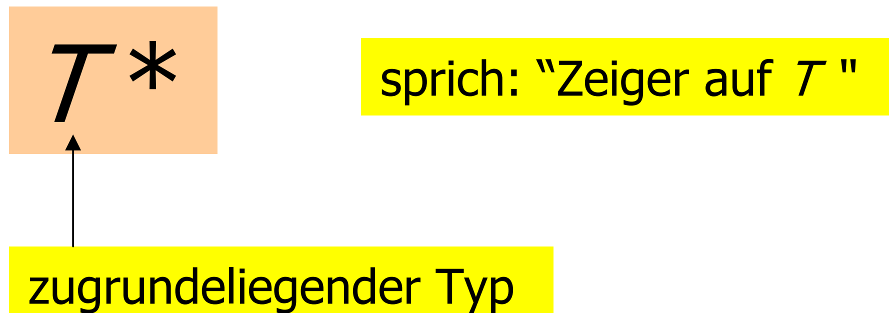
- erlauben das Repräsentieren von und das Rechnen mit *Adressen*
- unterstützen insbesondere die Operation "*gehe zum nächsten Element eines Feldes*"
- sind mit Vorsicht zu verwenden (beim *Ver*rechnen mit Adressen stürzt meist das Programm ab)

Zeiger-Typen



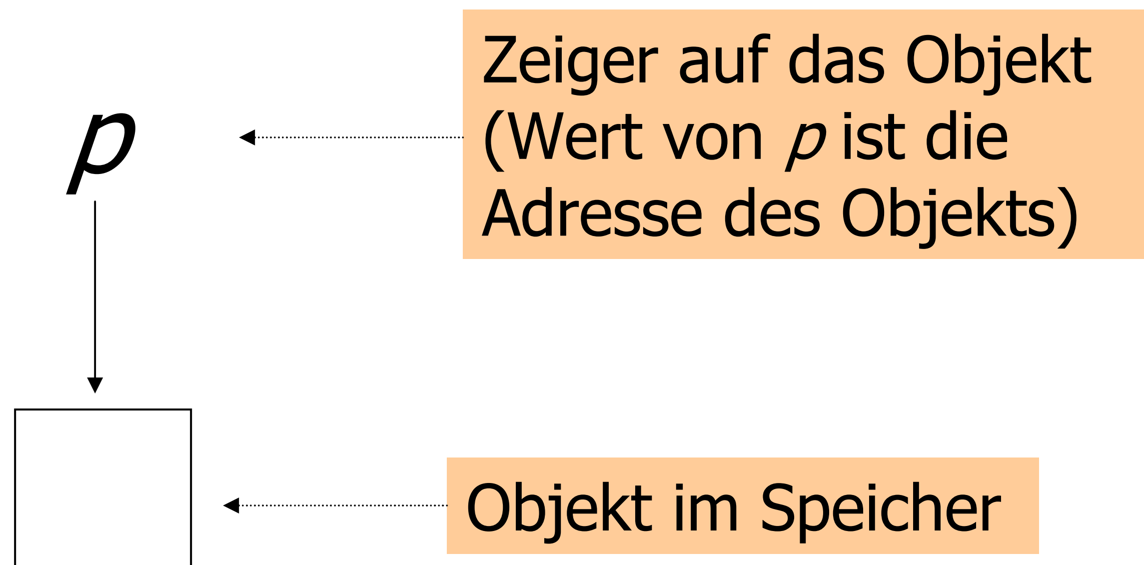
- *T* * hat als mögliche Werte Adressen von Objekten des Typs *T*

Zeiger-Typen



- *T* * hat als mögliche Werte Adressen von Objekten des Typs *T*
- Ausdrücke vom Typ *T* * heissen *Zeiger*

Zeiger: Visualisierung



Adressoperator

- liefert einen Zeiger (R-Wert) auf ein beliebiges Objekt, gegeben durch einen L-Wert

& L-Wert

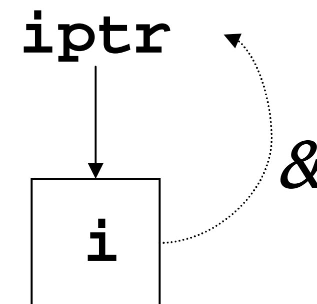
Adressoperator

- liefert einen Zeiger (R-Wert) auf ein beliebiges Objekt, gegeben durch einen L-Wert

& L-Wert

```
int i = 5;

int* iptr = &i;
```



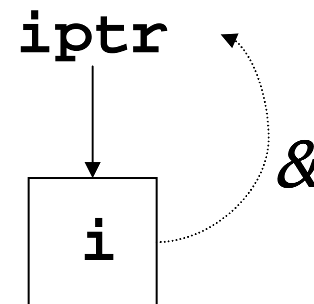
Adressoperator

- liefert einen Zeiger (R-Wert) auf ein beliebiges Objekt, gegeben durch einen L-Wert

& L-Wert

```
int i = 5;

int* iptr = &i;
```



Kann man lesen als `int *iptr = &i` (d.h. `*iptr` ist vom Typ `int`).
Wieder ein Fall von impliziter Typdefinition!

Dereferenzierungsoperator

- liefert einen L-Wert für ein Objekt, gegeben durch einen Zeiger auf das Objekt

** R-Wert*

Dereferenzierungsoperator

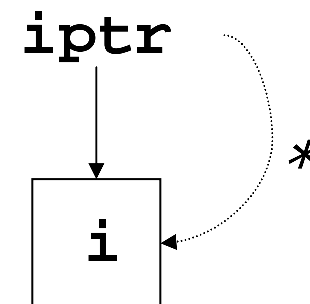
- liefert einen L-Wert für ein Objekt, gegeben durch einen Zeiger auf das Objekt

** R-Wert*

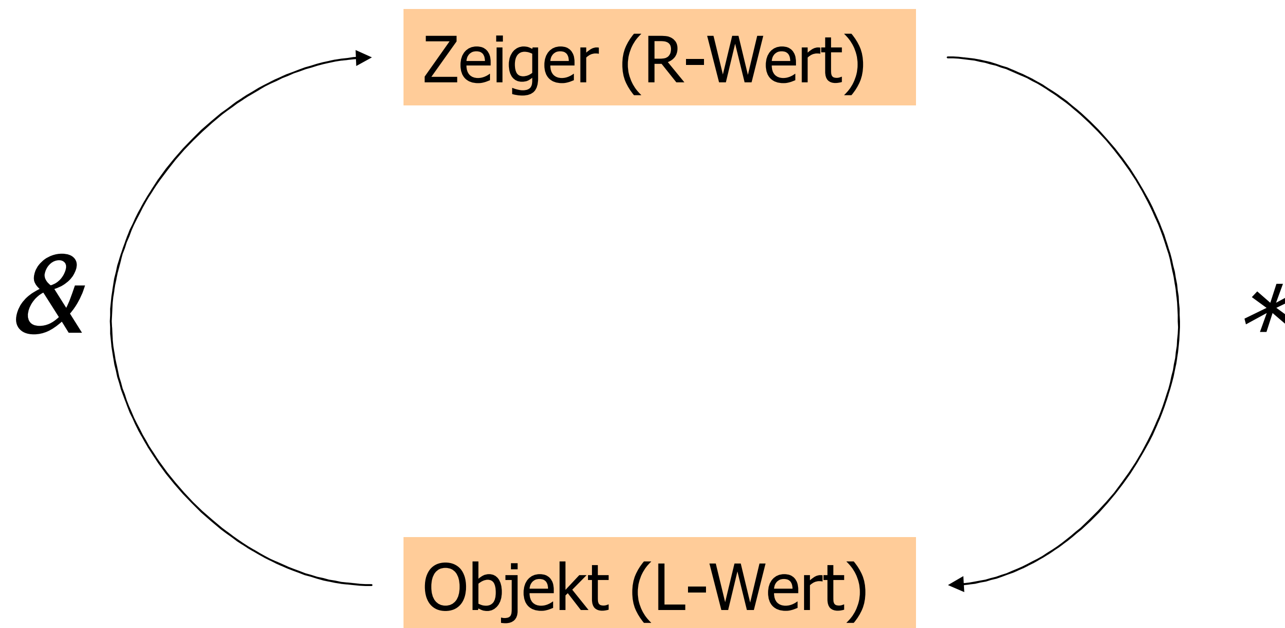
```
int i = 5;

int* iptr = &i;

int j = *iptr; // j = 5
```



Dereferenzierungsoperator = Adressoperator $^{-1}$



Nichtinitialisierte Zeiger

- sind eine typische Fehlerquelle

Nichtinitialisierte Zeiger

- sind eine typische Fehlerquelle

```
int* iptr;     // nicht initialisiert
...
int j = *iptr; // Objekt an "zufaelliger“ Adresse
               // --> undefiniertes Verhalten
```

Nullzeiger

- Zeiger, die (noch) nicht auf ein Objekt zeigen, sollten mit 0 initialisiert werden

```
int* iptr = 0;  // Nullzeiger
...
int j = *iptr;  // kein Objekt an dieser Adresse
                // --> "sicherer" Laufzeitfehler
```

Nullzeiger

- Zeiger, die (noch) nicht auf ein Objekt zeigen, sollten mit 0 initialisiert werden

```
int* iptr = 0;     // Nullzeiger
...
if (iptr != 0) {   // so ist’s am besten
  int j = *iptr;
  ...
}
```

Felder “sind” Zeiger

- Jedes Feld vom Typ *T* [*k*] ist in den Typ *T** konvertierbar

Feld-nach-Zeiger-Konversion

Felder “sind” Zeiger

- Jedes Feld vom Typ *T* [*k*] ist in den Typ *T** konvertierbar

Feld-nach-Zeiger-Konversion

- Ergebnis der Konversion ist ein Zeiger auf das erste Element (Feldindex 0)

Felder "sind" Zeiger

- Jedes Feld vom Typ $T[k]$ ist in den Typ $T*$ konvertierbar

Feld-nach-Zeiger-Konversion

- Ergebnis der Konversion ist ein Zeiger auf das erste Element (Feldindex 0)
- Tritt ein Feld in einem Ausdruck auf, so wird es automatisch konvertiert

Im Rechner passiert dabei nichts: ein Feld ist ohnehin nur durch die Adresse des ersten Elements repräsentiert.

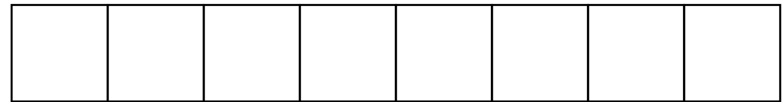
Felder “sind” Zeiger

Beispiel:

```
int a[5];

int* begin = a;
```

begin

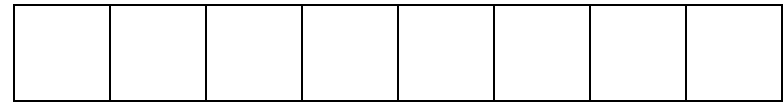


a

Felder “sind” Zeiger

Beispiel:

```
int a[5];
int* begin = a;
```



Ist das äquivalent zu

```
int a[5];
int* begin = &a[0];
```

?

Felder “sind” Zeiger

Beispiel:

```
int a[5];

int* begin = a;
```

Ist das äquivalent zu

```
int a[5];

int* begin = &a[0];
```

?

Nicht ganz, denn hier wird zusätzlich noch a[0] ausgewertet!

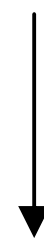
Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger

Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger

p : Zeiger auf ein Feldelement



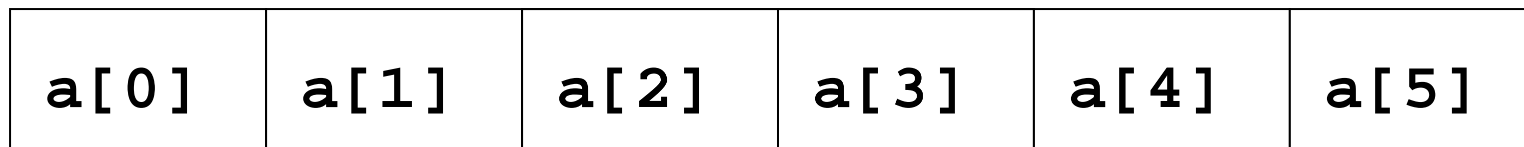
`a[0]`	`a[1]`	`a[2]`	`a[3]`	`a[4]`	`a[5]`

Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger

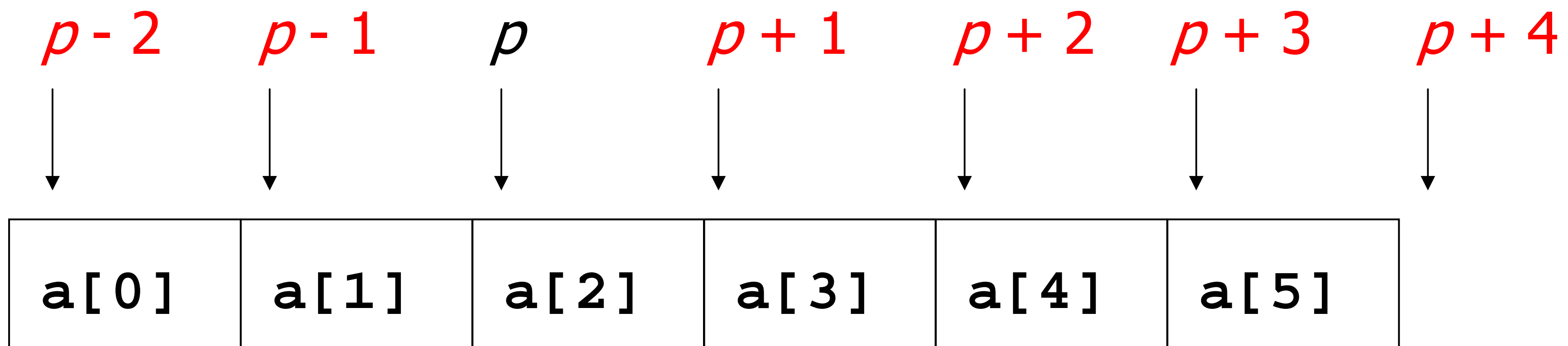
...oder auf Zelle direkt hinter dem Feld (*past-the-end* Zeiger)

p



Zeiger-Arithmetik

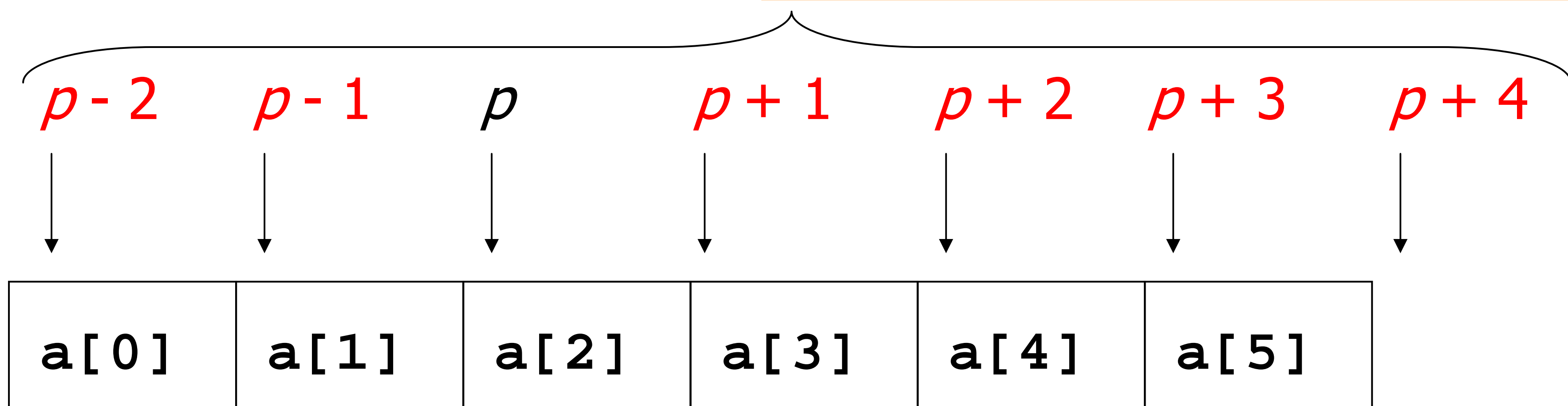
- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger - Zeiger



Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger

Addenden mit Ergebniszeiger aus-
serhalb dieses Bereichs sind illegal!



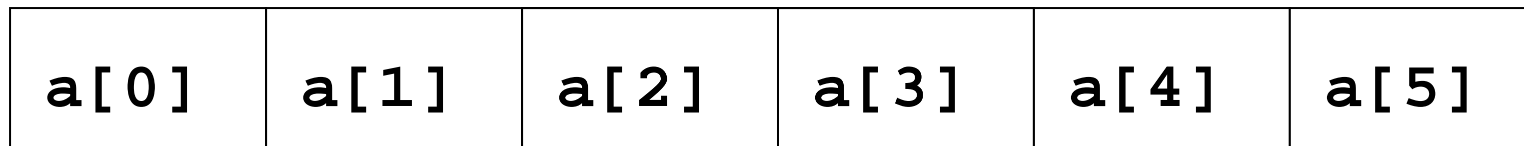
Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger - Zeiger

`+= , -= , ++ , --`

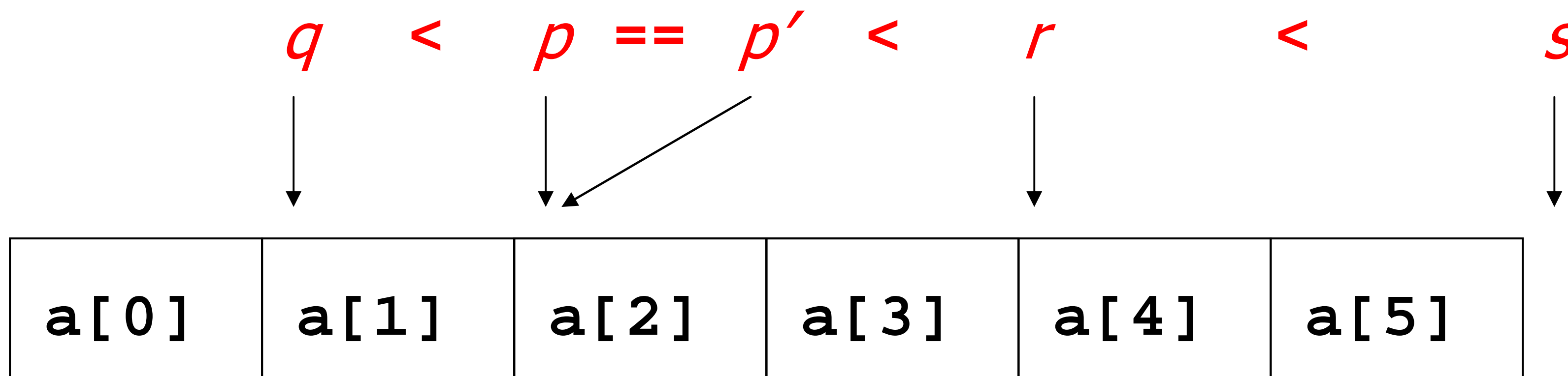
gibt es auch, mit der üblichen Bedeutung

p



Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger



Zeiger-Arithmetik

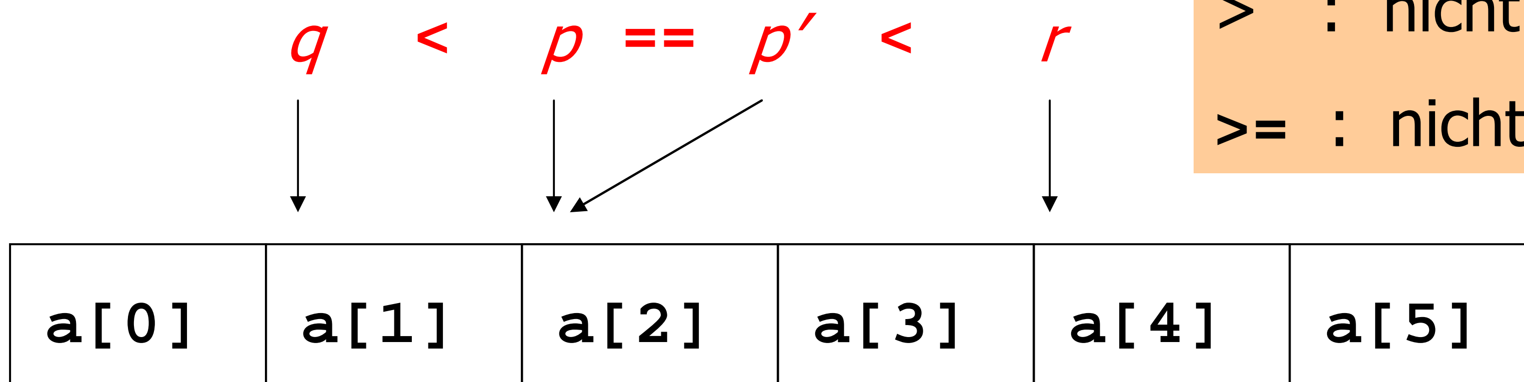
- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger

`!=` : nicht `==`

`<=` : `<` oder `==`

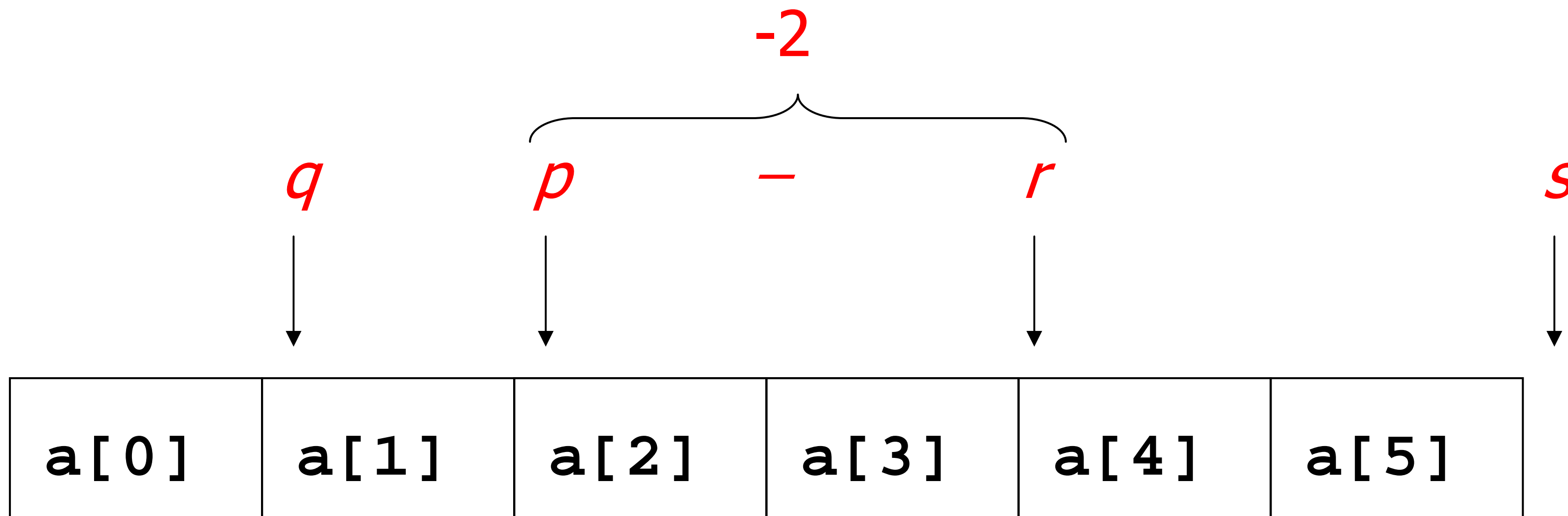
`>` : nicht `<=`

`>=` : nicht `<`



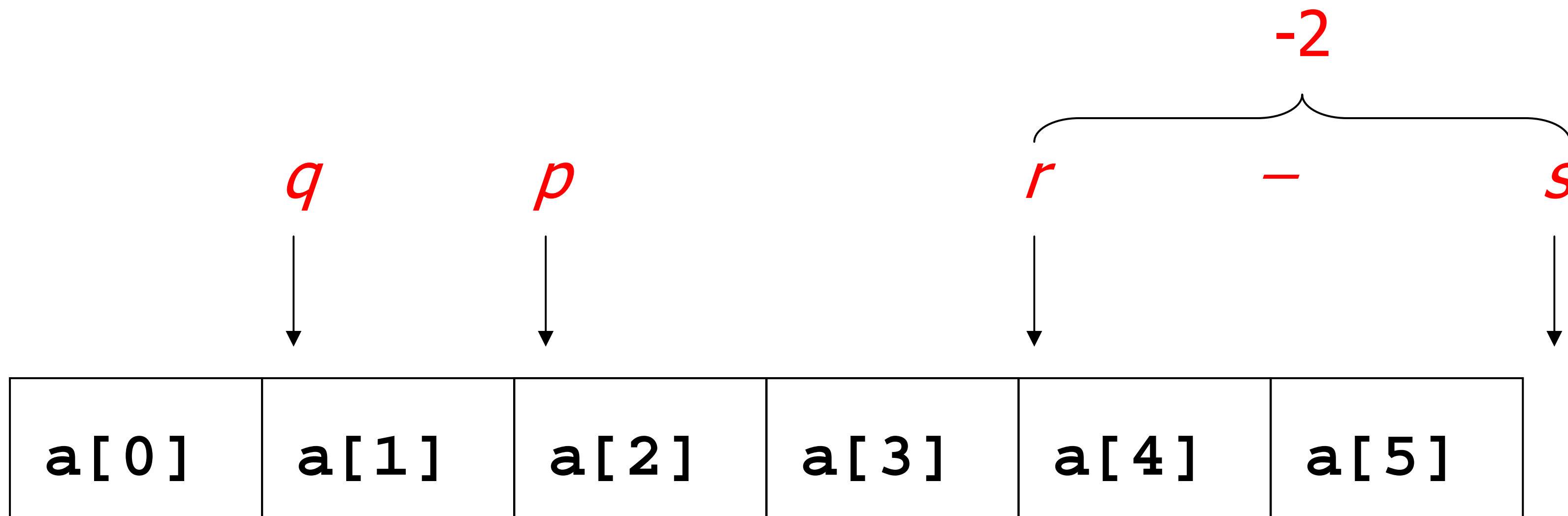
Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger - Zeiger



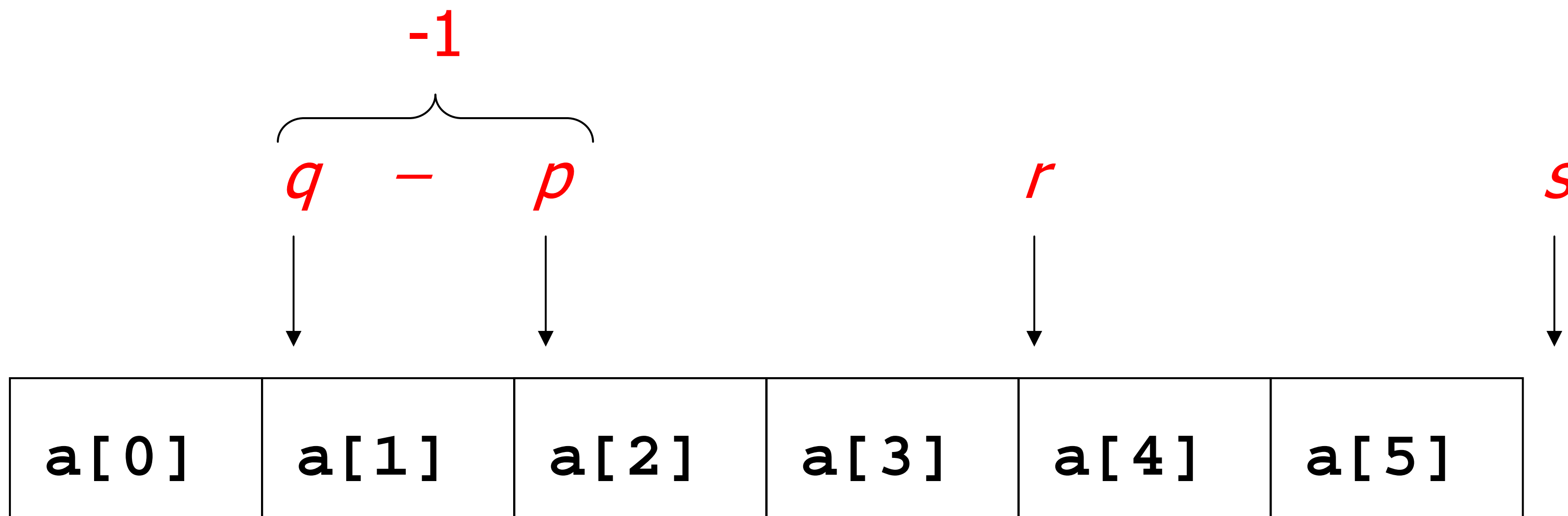
Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger - Zeiger



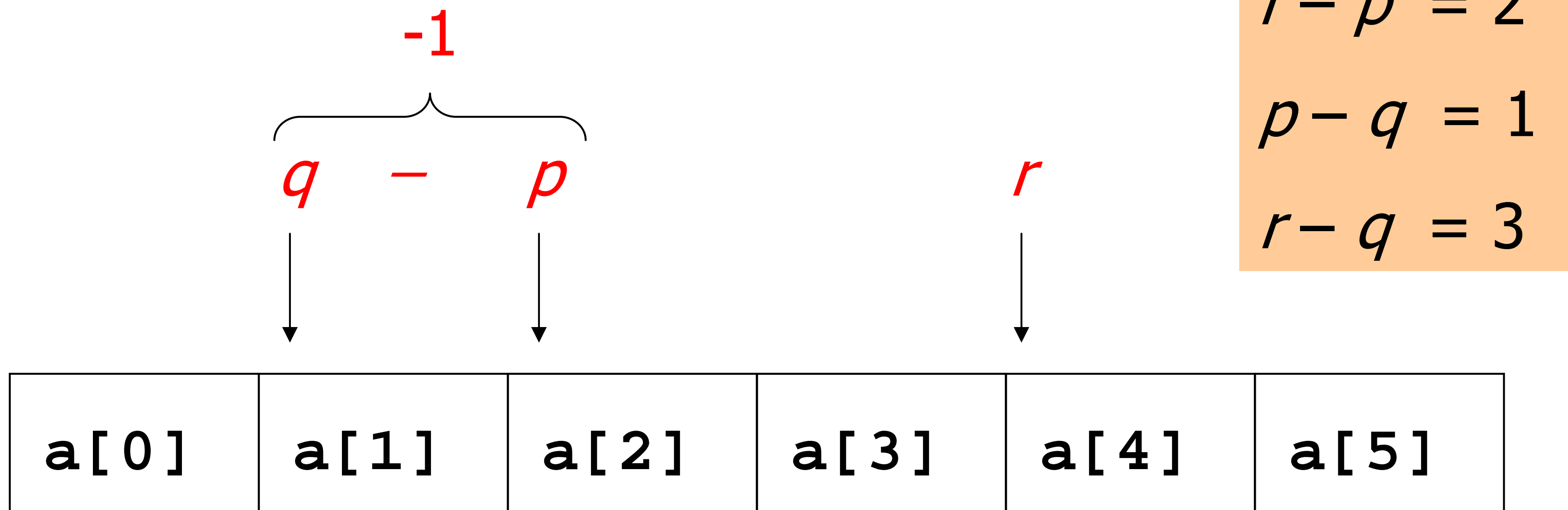
Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger `-` Zeiger



Zeiger-Arithmetik

- Zeiger `{+, -}` ganze Zahl
- Zeiger `{==, !=, <, >, <=, >=}` Zeiger
- Zeiger - Zeiger



$r - p = 2$

$p - q = 1$

$r - q = 3$

Die Wahrheit über den Subskript-Operator

- arbeitet eigentlich auf Zeigern:

  a [*expr*]

  ist eine Abkürzung für

  * (*a* + *expr*)

Die Wahrheit über den Subskript-Operator

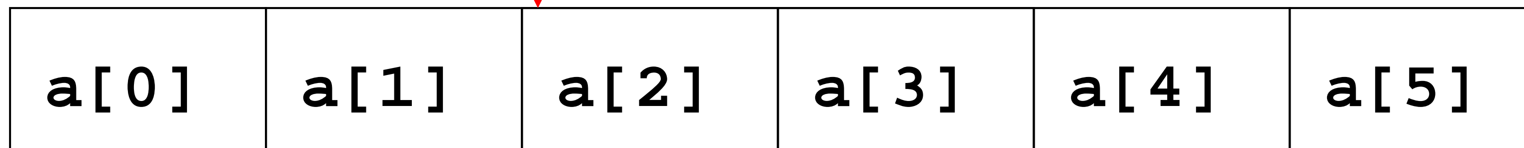
- arbeitet eigentlich auf Zeigern:

  a [*expr*]

  ist eine Abkürzung für

  * (*a* + *expr*)

Bespiel: *expr* hat Wert 2



Die Wahrheit über den Subskript-Operator

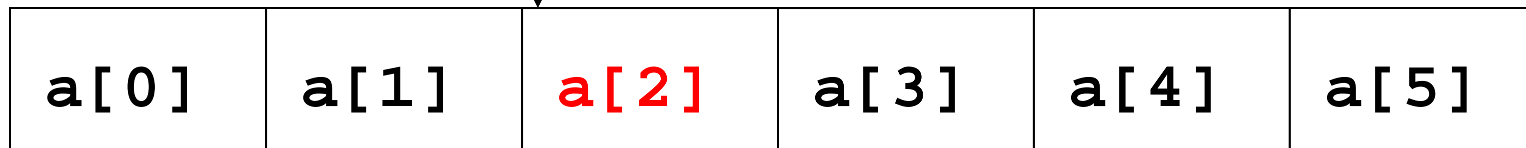
- arbeitet eigentlich auf Zeigern:

$a\,[\ expr\ ]$

ist eine Abkürzung für

$*\,(a + expr\,)$

Bespiel: *expr* hat Wert 2



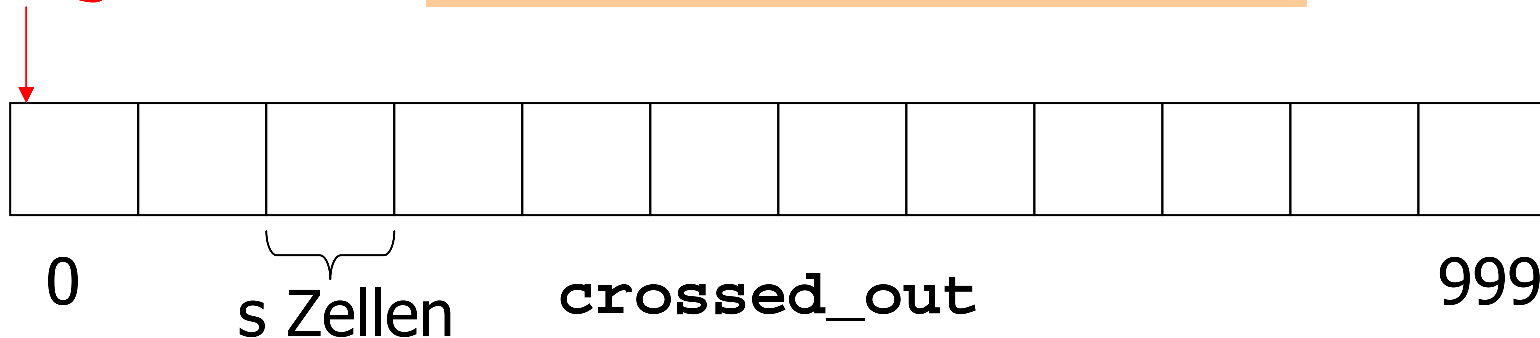
```
bool* begin = crossed_out;      // poi      st element
bool* end = crossed_out + 1              er last element
// in the loop              ely points to all elements
for (              != end; ++p)
  *         ; // *p is the element pointed to by p
```

wird noch genau erklärt!

Iteration durch Zeiger

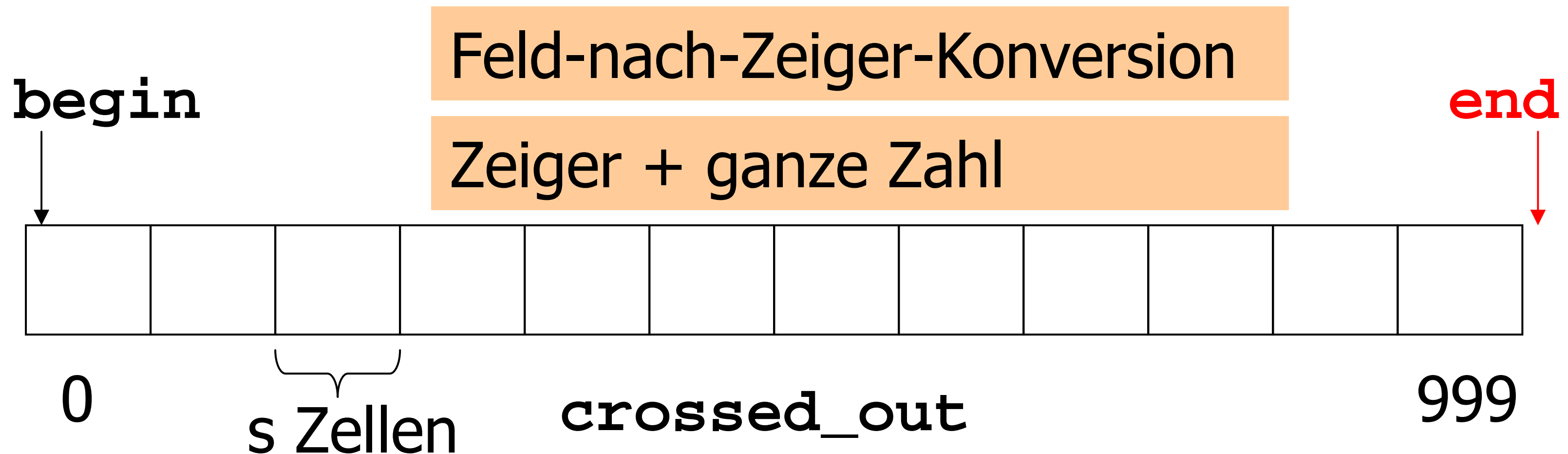
```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```

Feld-nach-Zeiger-Konversion



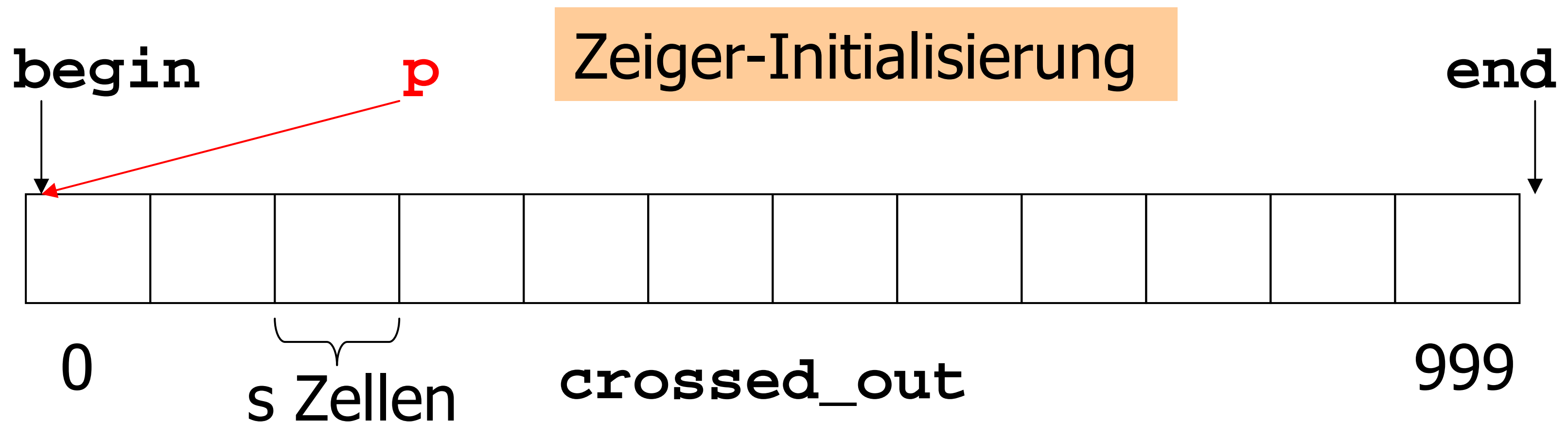
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



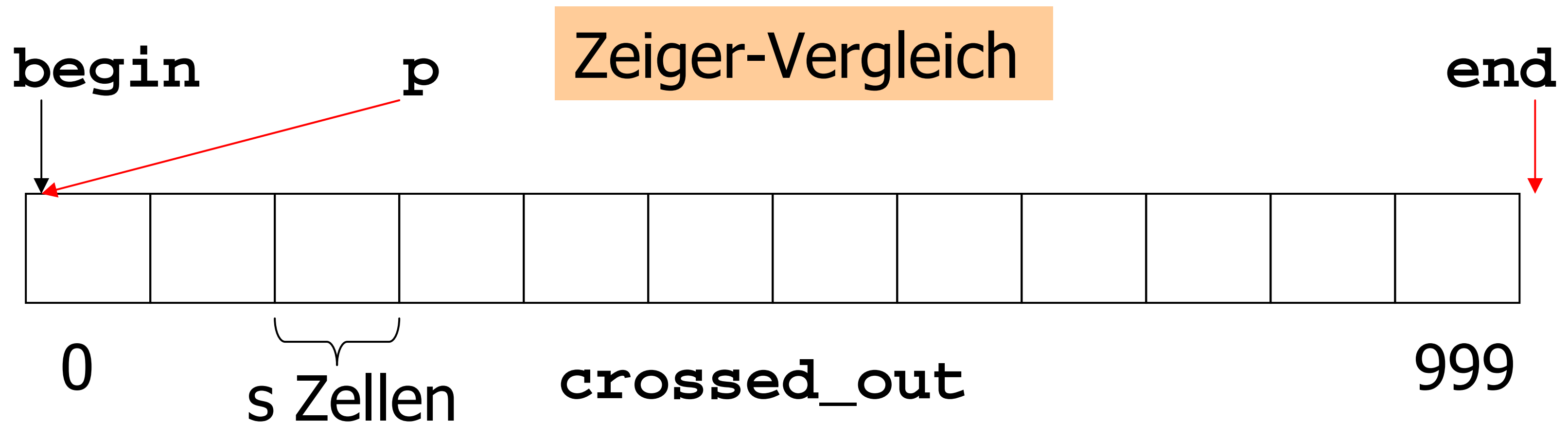
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



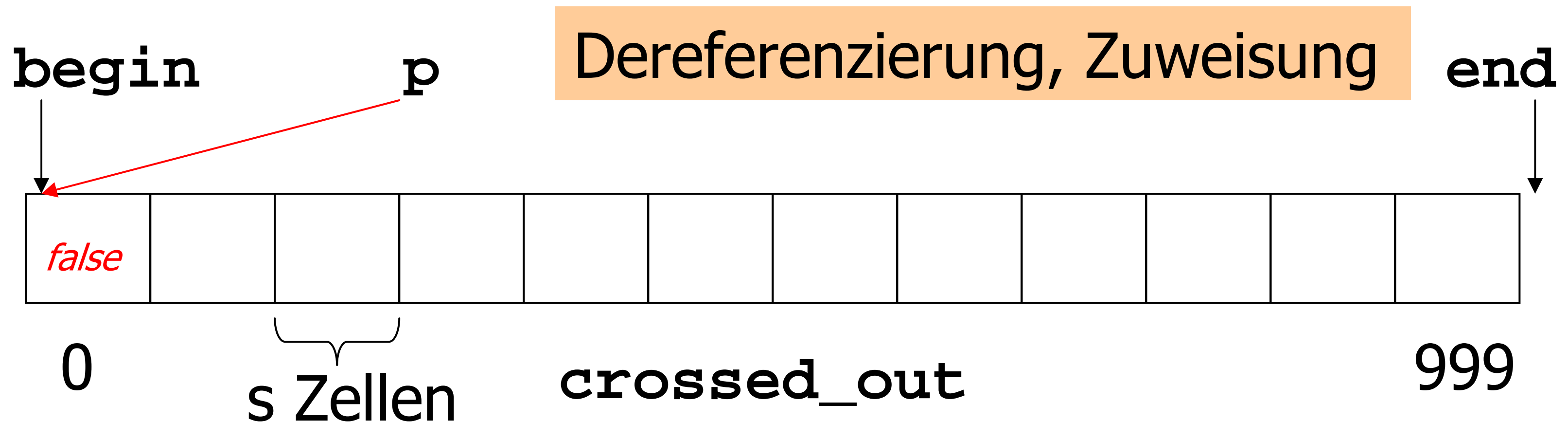
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



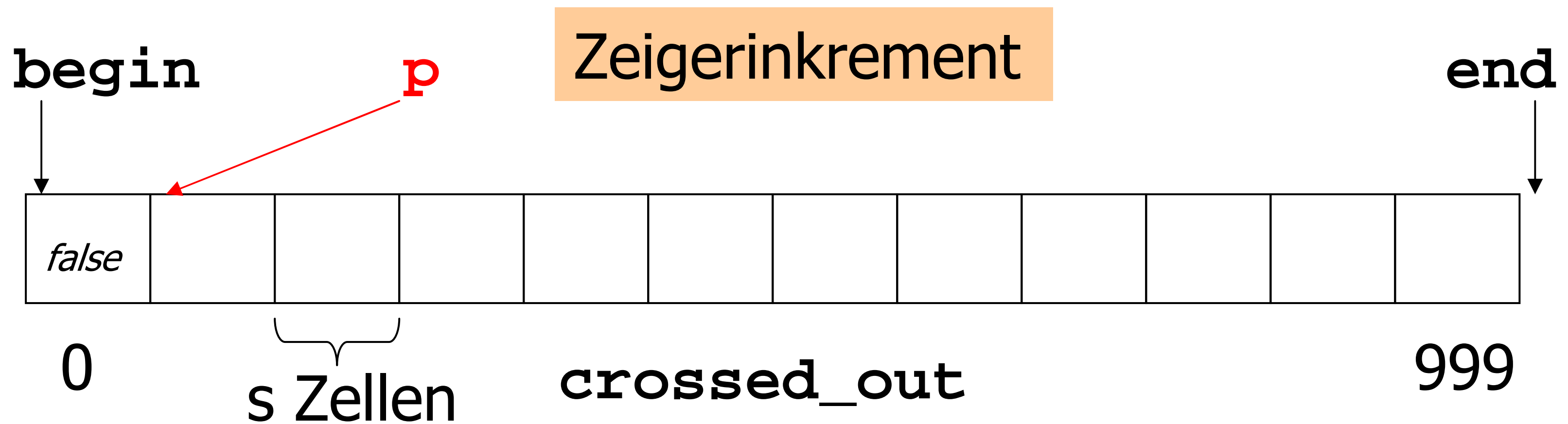
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



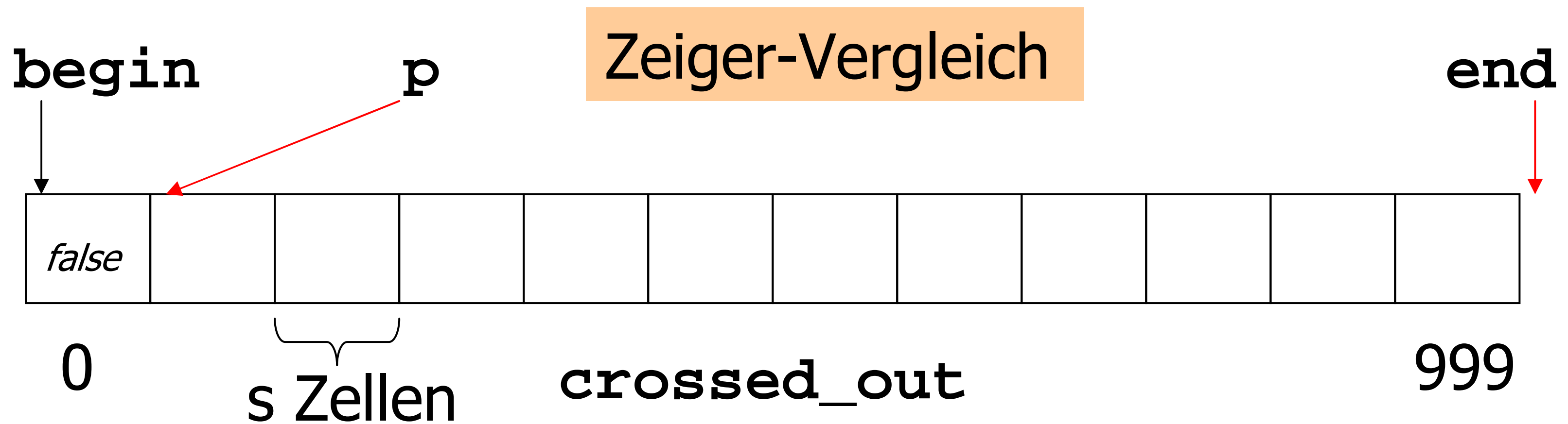
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



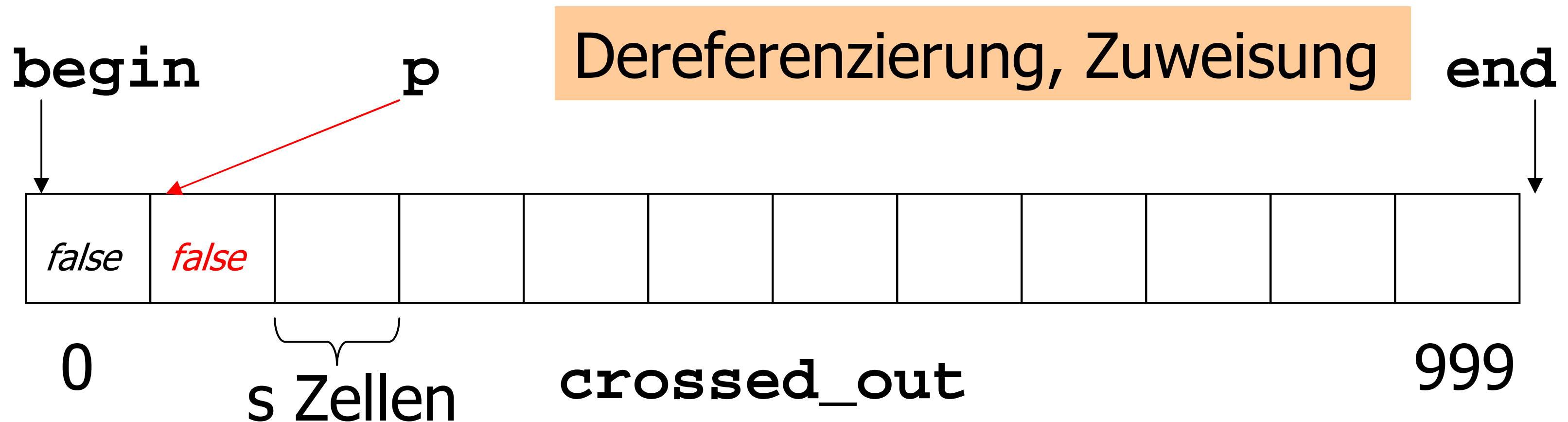
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



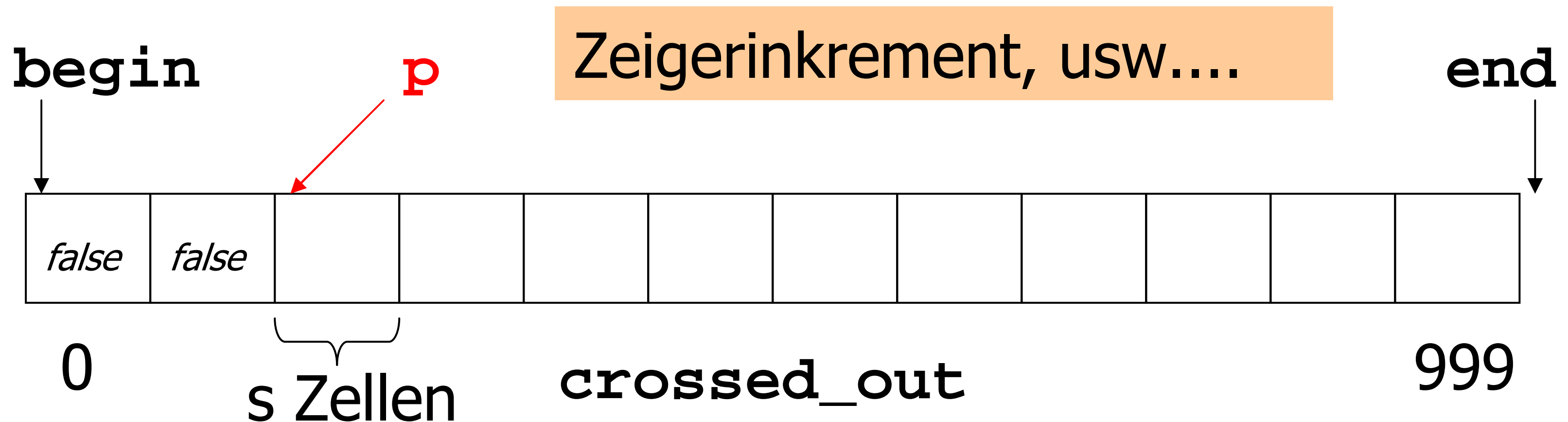
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



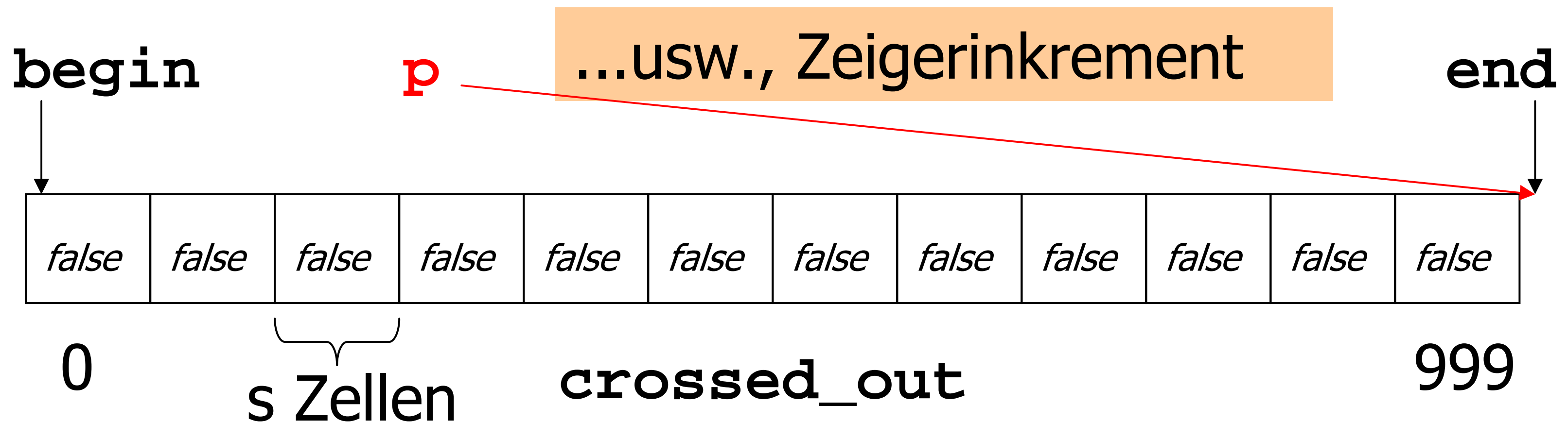
Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;       // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```

Zeiger-Vergleich

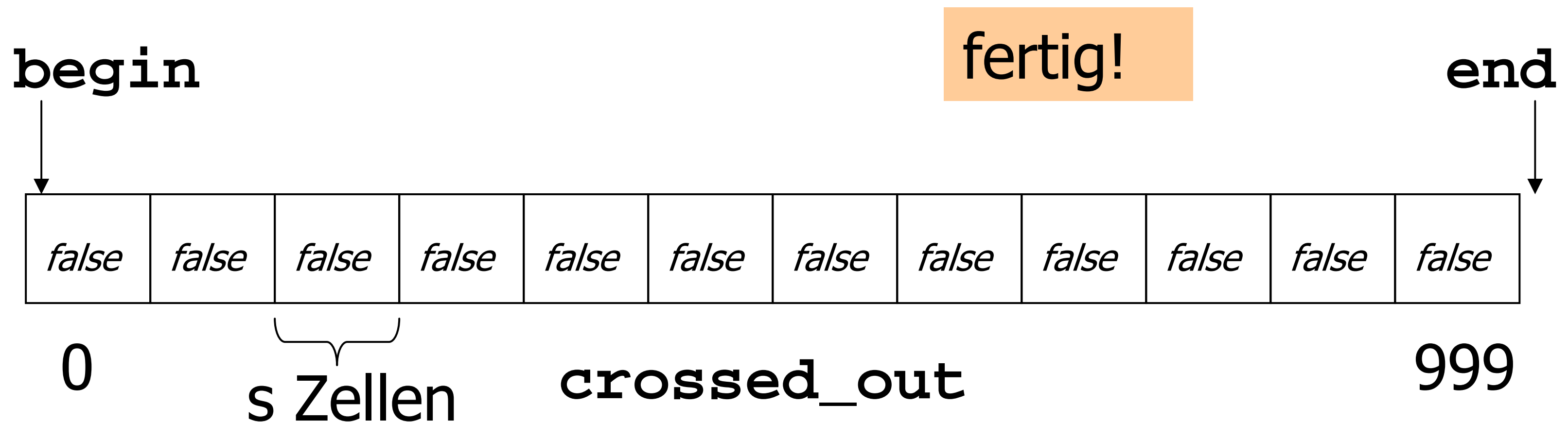
begin **p** **end**

false	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*	*false*

0 s Zellen **crossed_out** 999

Iteration durch Zeiger

```
bool* begin = crossed_out;        // pointer to first element
bool* end = crossed_out + 1000; // pointer after last element
// in the loop, pointer p successively points to all elements
for (bool* p = begin; p != end; ++p)
  *p = false; // *p is the element pointed to by p
```



Warum Zeiger?

- Die (geringfügig) schnellere Iteration ist nicht der Punkt (Lesbarkeit spricht oft eher für wahlfreien Zugriff)

Warum Zeiger?

- Die (geringfügig) schnellere Iteration ist nicht der Punkt (Lesbarkeit spricht oft eher für wahlfreien Zugriff)
- **Grund 1**: wir brauchen sie für Felder mit variabler Länge (gleich...)

Warum Zeiger?

- Die (geringfügig) schnellere Iteration ist nicht der Punkt (Lesbarkeit spricht oft eher für wahlfreien Zugriff)
- **Grund 1**: wir brauchen sie für Felder mit variabler Länge (gleich...)
- **Grund 2**: **std::** Container-Algorithmen (Sortieren,...) brauchen *Iteratoren*

Warum Zeiger?

- Die (geringfügig) schnellere Iteration ist nicht der Punkt (Lesbarkeit spricht oft eher für wahlfreien Zugriff)
- **Grund 1**: wir brauchen sie für Felder mit variabler Länge (gleich...)
- **Grund 2**: **std::** Container-Algorithmen (Sortieren,...) brauchen *Iteratoren*

Zeiger sind die Iteratoren der Felder!

Dynamischer Speicher

- wie “besorgen” wir Speicher, der bei Kompilierung nicht vorhersehbar ist?

Dynamischer Speicher

- wie "besorgen" wir Speicher, der bei Kompilierung nicht vorhersehbar ist?
  - Sieb des Eratosthenes mit Eingabe von n
  - Allgemein: Feld variabler Länge

New-Ausdrücke

`new` *T*

Ausdruck vom Typ *T** (Zeiger)

`new`-Operator

New-Ausdrücke

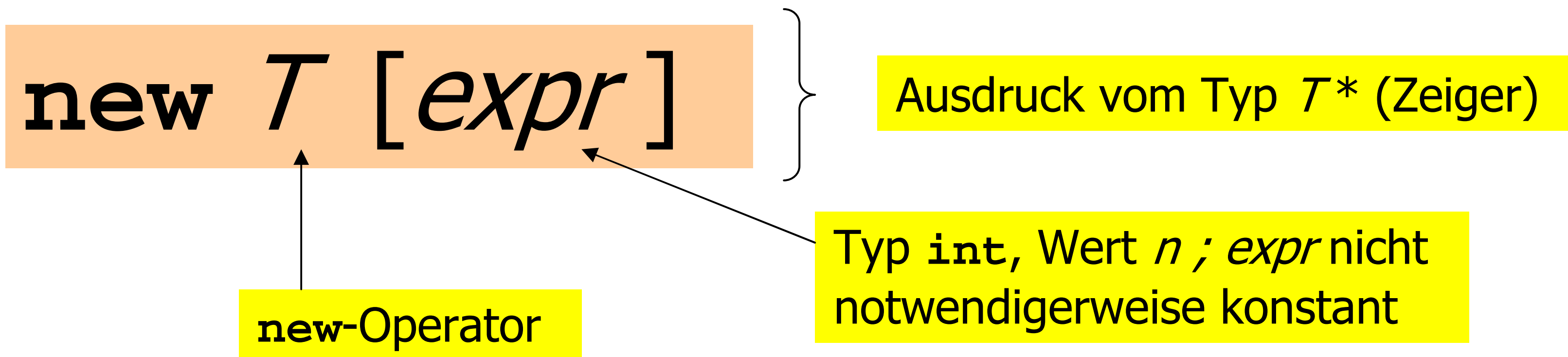
`new` *T*

Ausdruck vom Typ *T* * (Zeiger)

`new`-Operator

- Effekt: neuer Speicher für ein Objekt vom Typ *T* wird bereitgestellt; der Wert des Ausdrucks ist dessen Adresse

New-Ausdrücke



- Effekt: neuer Speicher für ein Feld der Länge *n* mit zugrundeliegendem Typ *T* wird bereitgestellt; Wert des Ausdrucks ist Adresse des ersten Elements

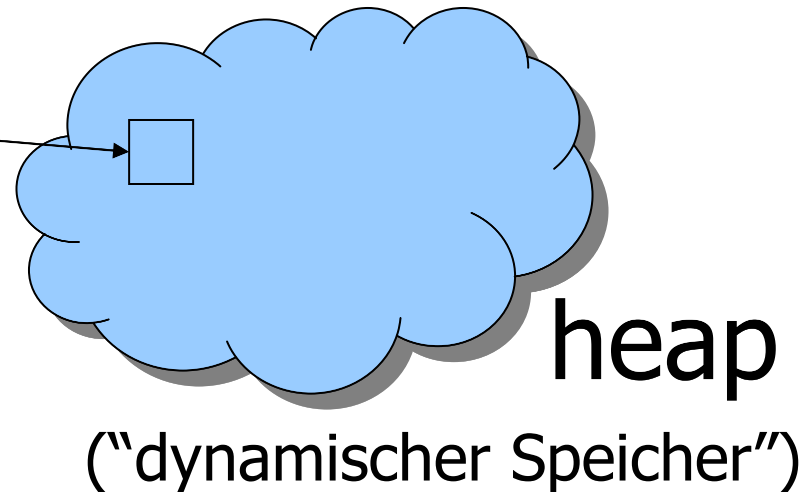
Der *Heap*

- Hauptspeicherbereich, aus dem das Programm neuen Speichers “holen” kann.

Der *Heap*

- Hauptspeicherbereich, aus dem das Programm neuen Speichers “holen” kann.

```
int* i = new int;
```

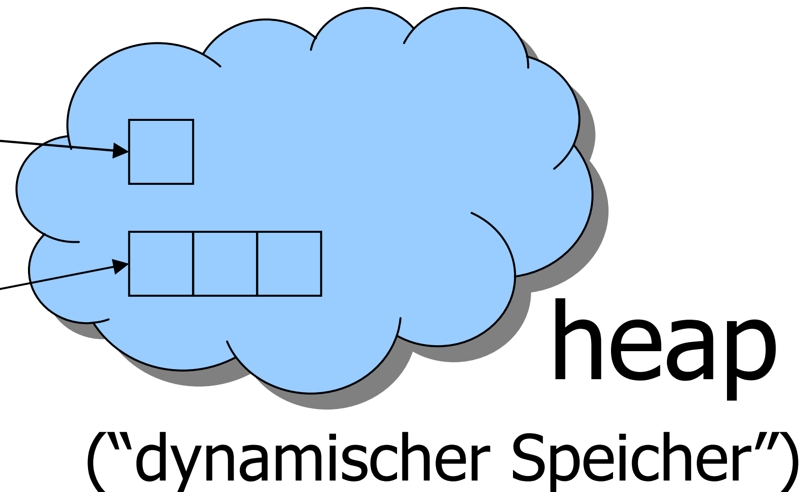


Der *Heap*

- Hauptspeicherbereich, aus dem das Programm neuen Speichers “holen” kann.

```
int* i = new int;
```

```
int* a = new int[3];
```



Sieb des Eratosthenes bisher: *statischer* Speicher

```
int main()
{







  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....


  return 0;
}
```

Sieb des Eratosthenes neu: *dynamischer* Speicher

```
int main()
{
  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....


  return 0;
}
```

```
int main()
{
  // input
  std::cout << "Compute prime numbers
    in {2,...,n-1} for n =? ";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  bool* crossed_out = new bool[n];
  for (unsigned int i = 0; i < n; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....
  delete[] crossed_out;

  return 0;
}
```

Sieb des Eratosthenes neu: *dynamischer* Speicher

```
int main()
{










  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....



  return 0;
}
```

```
int main()
{
  // input
  std::cout << "Compute prime numbers
    in {2,...,n-1} for n =? ";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  bool* crossed_out = new bool[n];
  for (unsigned int i = 0; i < n; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....
  delete[] crossed_out;

  return 0;
}
```

Subskript-Operator auf *Zeiger* `crossed_out`

Sieb des Eratosthenes neu: *dynamischer* Speicher

```
int main()
{








  bool crossed_out[1000];
  for (unsigned int i = 0; i < 1000; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....



  return 0;
}
```

```
int main()
{
  // input
  std::cout << "Compute prime numbers
    in {2,...,n-1} for n =? ";
  unsigned int n;
  std::cin >> n;

  bool* crossed_out = new bool[n];
  for (unsigned int i = 0; i < n; ++i)
    crossed_out[i] = false;

  // computation and output
  ....
  delete[] crossed_out;

  return 0;
}
```

Freigabe des nicht mehr benötigten dynamischen Speichers

Delete-Ausdrücke

Mit **`new`** erzeugte Objekte haben dynamische Speicherdauer: sie leben, bis sie explizit *gelöscht* werden:

`delete` *expr*

`delete`-Operator

Zeiger vom Typ *T**, der auf ein vorher mit **`new`** bereitgestelltes Objekt zeigt; Effekt: Speicher auf dem Heap wird wieder freigegeben.

Delete-Ausdrücke

Mit **`new`** erzeugte Objekte haben dynamische Speicherdauer: sie leben, bis sie explizit *gelöscht* werden:

`delete` *expr*

`delete`-Operator

Zeiger vom Typ *T**, der auf ein vorher mit **`new`** bereitgestelltes Objekt zeigt; Effekt: Speicher auf dem Heap wird wieder freigegeben.

```
int* i = new int;
...
delete i;
```

Delete-Ausdrücke

Mit **`new`** erzeugte Objekte haben dynamische Speicherdauer: sie leben, bis sie explizit *gelöscht* werden.

`delete[]` *expr*

`delete`-Operator

Zeiger vom Typ *T**, der auf ein vorher mit **`new`** bereitgestelltes Feld zeigt; Effekt: Speicher auf dem Heap wird wieder freigegeben.

Mit **`new`** erzeugte Objekte haben dynamische Speicherdauer: sie leben, bis sie explizit *gelöscht* werden.

`delete[]` *expr*

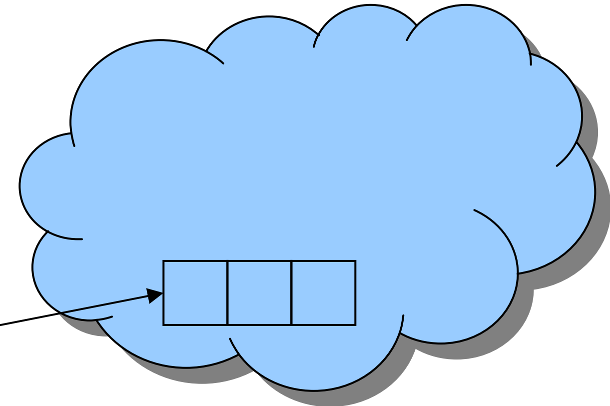
`delete`-Operator

Zeiger vom Typ *T**, der auf ein vorher mit **`new`** bereitgestelltes Feld zeigt; Effekt: Speicher auf dem Heap wird wieder freigegeben.

```
int* a = new int[3];
...
delete[] a;
```

Dynamische-Speicher-Richtlinie

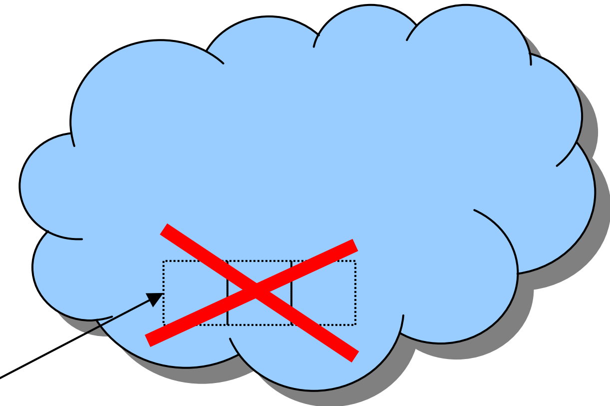
Zu jedem **new** gibt es ein passendes **delete**



```
int* a = new int[3];
```

Dynamische-Speicher-Richtlinie

Zu jedem **`new`** gibt es ein passendes **`delete`**



```
int* a = new int[3];
...
delete[] a;
```

Dynamische-Speicher-Richtlinie

Zu jedem **`new`** gibt es ein passendes **`delete`**

Nichtbefolgung führt zu *Speicherlecks* (ungenutzter, aber nicht mehr verfügbarer Speicher auf dem Heap)