universität
innsbruck

Prinzipien von Blockchain-Systemen

Konzepte der Ethereum-Programmierung mit Solidity

Michael Fröwis

Agenda

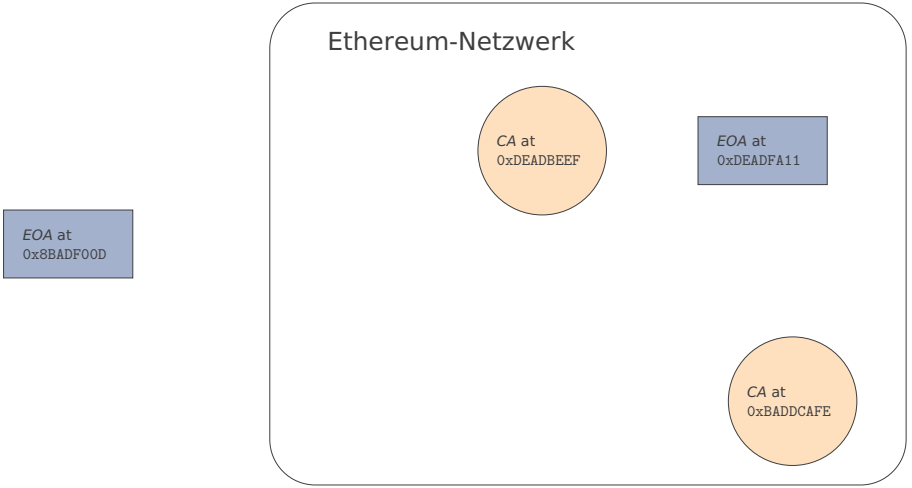
A. **Überblick: Ethereum aus Entwicklersicht**

B. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

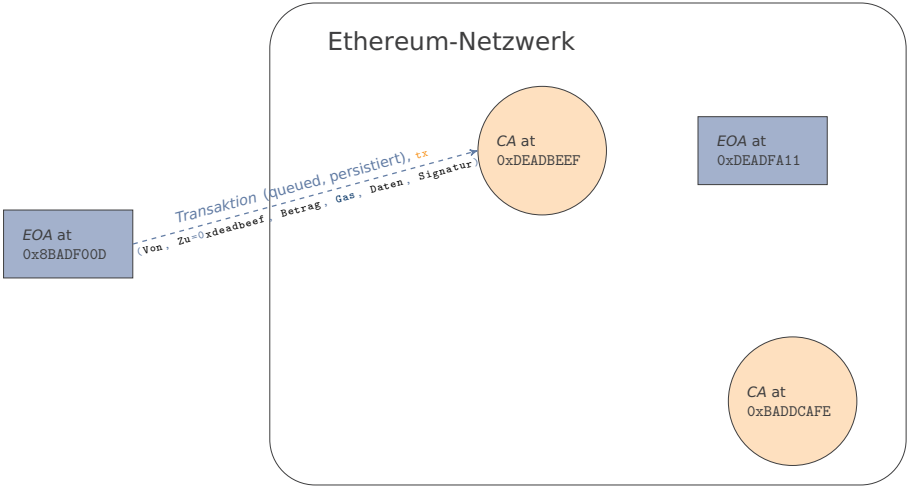
C. Fallstricke und Best Practices

D. Tools und Ressourcen

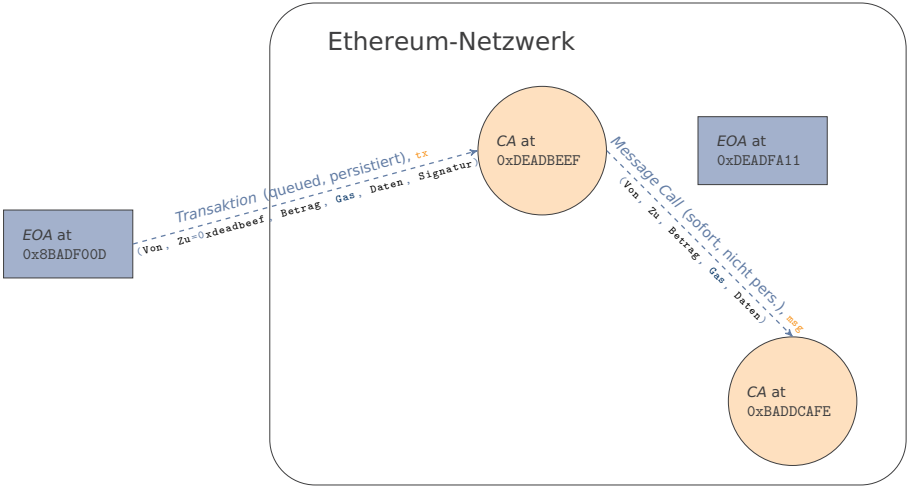
Ethereum Überblick – Entwicklersicht



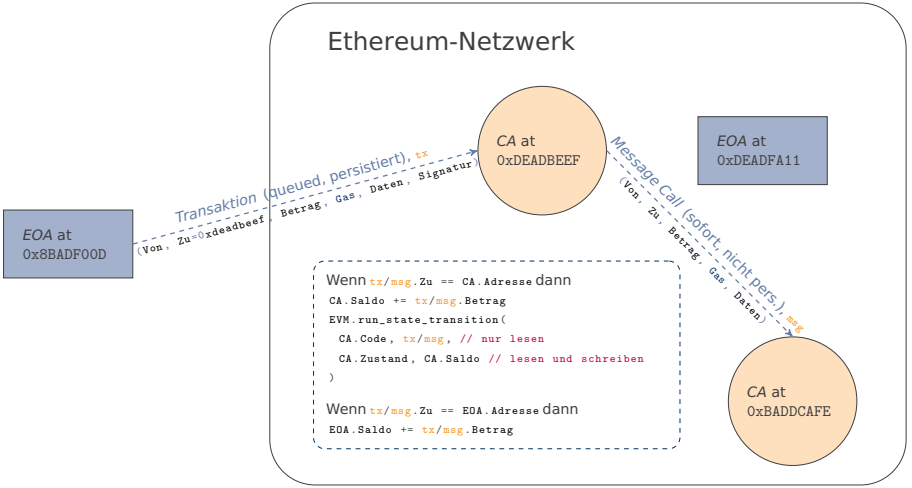
Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Ethereum Überblick – Entwicklersicht



Agenda

A. Überblick: Ethereum aus Entwicklersicht

B. **Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen**

C. Fallstricke und Best Practices

D. Tools und Ressourcen

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)
- **Analogien**:

Solidity

- Populärste EVM-Sprache (*Ethereum Virtual Machine*)
- Stark und statisch typisiert
- Balance zwischen Gas-Effizienz und Abstraktionsgrad
- Syntaktisch verwandt mit Java, C++, JavaScript, . . .
  (Kontrollstrukturen, Syntax, Abstraktionen etc.)
- **Analogien**:

Class	Contract, definiert in Solidity
Instanz	*CA* auf der Blockchain
RPC-Aufruf	*Transaktion*/*Message Call* mit *CA* Empfänger *(Datenfeld spezifiziert Funktion und Parameter)*

→ **Notiz:** die folgenden Codespiele wurden mit compiler version 0.4.16 getested. Abweichungen in aktuelleren Versionen sind teilweise annotiert.

Struktur eines Contracts

```
pragma solidity ^0.4.16;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struk

Version pragma:
spezifische Compiler-Version.
Aktuelle version May 2020: v0.6.4

```
pragma solidity ^0.4.16;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

Contract definition, Vererbung

```
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

Zustandsvariablen
Log-definitionen: Events
Typ-definitionen: Enums, Structs

```
pragma
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
pragma solidity ^0.4.16;
contract Coin {
    address pub
    mapping (ad

    event Sent(                                    , uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Konstruktor mit Parameter
gleicher Name wie Contract, ab v0.5.0 mit constructor keyword

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
pragma solidity ^0.4.16;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin() public { minter = msg.sender; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function send_to(address receiver, uint amount) public returns (bool) {
        if (balances[msg.sender] < amount) return false;
        balances[msg.sender] -= amount;
        balances[receiver] += amount;
        Sent(msg.sender, receiver, amount);
        return true;
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Funktionsdefinitionen:
selektiert anhand `tx/msg.Daten`

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Struktur eines Contracts

```
pragma solidity ^0.4.16;
contract Coin {
    address public minter;
    mapping (address => uint) public balances;

    event Sent(address indexed from, address indexed to, uint amount);

    function Coin(address _minter) public { minter =  _minter; }

    function mint(address receiver, uint amount) public {
        if (msg.sender != minter) return;
        balances[receiver] += amount;
    }

    function sen                                    lic returns (bool) {
        if (bala                                    ;
        balances
        balances
        Sent(msg
        return t
    }

    function() public { revert(); }
}
```

Fallback-Funktion:
Wenn keine Funktion in `tx`/`msg` spezifiziert oder Funktion nicht vorhanden. Ab v0.6.0 mit fallback keyword.

Quelle: *Solidity Dokumentation*, 15.01.2018

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block:
```
block.blockhash(n), block.coinbase, block.difficulty,
block.gaslimit, block.number, block.timestamp = now
```

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`,
`block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`,
`block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`, `block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Validierung/Fehler: `require(<condition>)`, `assert(<condition>)`, `revert()`

Umgebungsvariablen und vordefinierte Funktionen

Block: `block.blockhash(n)`, `block.coinbase`, `block.difficulty`,
`block.gaslimit`, `block.number`, `block.timestamp` = `now`

Message: `msg.data`, `msg.sig`, `msg.gas`, `msg.sender`, `msg.value`

Transaktion: `tx.gasprice`, `tx.origin`

Contract: `this`, `selfdestruct(<address>)`

Math: `addmod(x, y, k)`, `mulmod(x, y, k)`, `sha3(...)` = `keccak256(...)`

Validierung/Fehler: `require(<condition>)`, `assert(<condition>)`, `revert()`

Pseudo-Contracts: `ecrecover(hash, v, r, s)`, `ripemd160(...)`, `sha256(...)`

Funktionen und Modifier

Beispiel:

```
//function <ident>?(<param>*) <sichtbarkeit | annotationen | modifier> returns (<
    typ>*){}

modifier only(address owner) {
  if(msg.sender == owner) _;      // _; wird mit Funktionsdefinition ersetzt
}

function withdraw() only(0xdeadbeef) { owner.transfer(this.balance); }
function withdraw(uint v) only(0xdeadbeef) { owner.transfer(this.balance) } //
    Ueberladen

function foo(uint bar, uint baz) public pure returns (uint bar_p, uint baz_p){
  return (bar / baz, bar % baz);  // = bar_p = bar / baz; baz_p = bar % baz;
}
```

Funktions-Annotationen

Modifier	`payable` oder `modifier` definiert im `contract`
Sichtbarkeit	public, private, external, internal
Annotationen	Enforciert `payable`, nicht enforciert `pure`, `view`, `constant` = `view`

Kontrollstrukturen

Beispiel:

```
for(uint i = 0; i < 2000; i++){
  ...
}

while(true){
  ...
}

if(msg.sender == 0xdeadbeef){
  ...
}else if(false){
  ...
}else{
  ...
}
```

Anmerkung

`if, else, while, do, for, break, continue, return, ? :`

→ Semantisch wie gewohnt von anderen Programmiersprachen

Vererbung

Beispiel (Base.sol):

```
contract Ownable {
  address internal owner;
  function Ownable(address _owner) public { owner = _owner; }

  modifier onlyowner() {
    require(msg.sender == owner);
    _;
  }
}
contract Payed is Ownable {
    function Withdraw() onlyowner public {
        msg.sender.transfer(this.balance);
    }
    modifier fee(uint amount){
        require(msg.value >= amount);
        _;
    }
}
contract Destructible is Ownable {
  function Shutdown() onlyowner public { selfdestruct(owner); }
}
```

Anmerkung

Unterstützt multiple Vererbung, per code kopieren (*Linearisierung*). `Destructible`, `Payed` sind abstract.

Vererbung

Beispiel (Base.sol

Funktionen auf einen definierten Besitzer des *CA* beschränken.

```
contract Ownable {
  address internal owner;
  function Ownable(address _owner) public { owner = _owner; }

  modifier onlyowner() {
    require(msg.sender == owner);
    _;
  }
}
contract Payed is Ownable {
    function Withdraw() onlyowner public {
        msg.sender.transfer(this.balance);
    }
    modifier fee(uint amount){
        require(msg.value >= amount);
        _;
    }
}
contract Destructible is Ownable {
  function Shutdown() onlyowner public { selfdestruct(owner); }
}
```

Anmerkung

Unterstützt multiple Vererbung, per code kopieren (*Linearisierung*). `Destructible`, `Payed` sind abstract.

Vererbung

Beispiel (Base.sol):

```
contract Ownable {
  address internal owner;
  function Ownable(address _owner) public { owner = _owner; }

  modifier onlyowner() {
    require(msg.s
    _;
  }
}
contract Payed is Ownable {
    function Withdraw() onlyowner public {
        msg.sender.transfer(this.balance);
    }
    modifier fee(uint amount){
        require(msg.value >= amount);
        _;
    }
}
contract Destructible is Ownable {
  function Shutdown() onlyowner public { selfdestruct(owner); }
}
```

Funktionen kostenpflichtig machen und Beträge auszahlen.

Anmerkung

Unterstützt multiple Vererbung, per code kopieren (*Linearisierung*). `Destructible`, `Payed` sind abstract.

Vererbung

Beispiel (Base.sol):

```
contract Ownable {
  address internal owner;
  function Ownable(address _owner) public { owner = _owner; }

  modifier onlyowner() {
    require(msg.sender == owner);
    _;
  }
}
contract Payed is Ownable {
    function Withdraw() onlyowner public {
        msg.sender.transfer(this.balance);
    }
    modifier fee(uint amount){
        require(msg.value >= amount);
        _;
    }
}
contract Destructible is Ownable {
  function Shutdown() onlyowner public { selfdestruct(owner); }
}
```

CA lässt sich deaktivieren.

Anmerkung

Unterstützt multiple Vererbung, per code kopieren (*Linearisierung*). `Destructible`, `Payed` sind abstract.

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
bool x = true && false;
uint y = 0xa;
bytes32 d = 0xdeadbeef;
uint z = y + address(x);  // Fehler! cast bool -> address nicht erlaubt ...
uint z = uint(d[0]);      // funktioniert mit explizitem cast
address a = address(z);   // cast uint -> address
```

Wertetypen

Boolean `bool`, *Operatoren:* `!`, `&&`, `||`, `==`, `!=`

Integer `uint8`, `uint16`, `...`, `uint248`, `uint256` = `uint`, `int8`, `...`, `int256` = `int`

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, `**`, `<<`, `>>`

bytesN `byte` = `bytes1`, `bytes2`, `...`, `bytes32`, fixed-size Array mit byte-weise Zugriff

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`, `[N]`

Member: `x.length`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
bool x = true && false;
uint y = 0xa;
bytes32 d = 0xdeadbeef;
uint z = y + address(x);  // Fehler! cast bool -> address nicht erlaubt ...
uint z = uint(d[0]);      // funktioniert mit explizitem cast
address a = address(z);   // cast uint -> address
```

Wertetypen

Boolean `bool`, *Operatoren:* `!`, `&&`, `||`, `==`, `!=`

Integer `uint8`, `uint16`, `...`, `uint248`, `uint256` = `uint`, `int8`, `...`, `int256` = `int`

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `+`, `-`, `*`, `/`, `%`, `**`, `<<`, `>>`

bytesN `byte` = `bytes1`, `bytes2`, `...`, `bytes32`, fixed-size Array mit byte-weise Zugriff

Operatoren: `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`, `&`, `|`, `^`, `~`, `<<`, `>>`, `[N]`

Member: `x.length`

→ Keine Unterstützung für Gleitkommazahlen, Festkomma-typ ab v0.5.0: `fixedMxN`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;

  function() payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;

  function() payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

Modifizierer für Zustandsvariablen:

`public` , `private` , `internal` , `constant`

```
contract BurnShar
  enum Action {sh
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;

  function() payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;
  function () payable {
    if(take == Action.share)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Erstellt Message Call:

`(Von=this, Zu=0xdeadbeef, Betrag=10^18 wei, Gas=2300, Daten="")`

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;

  function() payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Transaktion an 0x0, „verbrennt“ Ether.

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel:

```
contract BurnShareKeep {
  enum Action {share, keep, burn}
  Action public take = Action.share;
  address private constant shareit = 0xdeadbeef;

  function() payable {
    if(take == Action.share && msg.value > 1 ether)
      shareit.transfer(1000 finney);
    else if(take == Action.burn)
      address(0x0).transfer(msg.value);
  }
}
```

Wertetypen

Address `address`, 160-Bit Ethereum Adresse, *Operatoren:* `<=`, `<`, `==`, `!=`, `>`, `=>`

Member: `x.transfer`, `x.balance`, `x.send`, `x.call`, `x.callcode`, `x.delegatecall`

Enums `enum` User definierter Datentyp, intern Darstellung als `uint`

→ `send`, `call`, `delegatecall` bieten mehr Kontrolle über *Message Call* als `transfer`.

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, blocked}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Struktur mit zwei Feldern.

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Mapping):

```
contract Registry {
  enum State {active, reserved, free}
  struct Entry { State stat; address where; }
  mapping(string => Entry) r;

  function Lookup(string s) public view returns (entry) {
    return r[s];
  }

  function Reg(string s, address na) public {
    r[s] = Entry(State.active, na);
  }
}
```

Referenztypen

Strukturen `struct`, zusammengesetzter Datentyp

Key/Value `mapping`, alle keys mit 0 initialisiert, nicht iterierbar, keine Member

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Array):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (

Erstellt dynamisches storage Array.
statisch: `address[8] participants`

```
contract [illegible] {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Array):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payab
    if(msg.value > 1000 w
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Aufruf mit storage Referenz.
Keine *Message Call*, lokaler Aufruf!

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Array):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
    arr.push(item);
  }
}
```

Storage Qualifizierer um Kopie zu verhindern.

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push`

Variablen, Datentypen und Parameterübergabe

Beispiel (Array):

```
contract Registry2 {
  address[] participants;

  function Enroll() payable public {
    if(msg.value > 1000 wei)
      addToArray(participants, msg.sender);
  }

  function addToArray(address[] storage arr, address item) internal {
     arr.push(item);
  }
}
```

Referenztypen

Arrays `bytes`, `string`, `<typ>[N]`

Member: `x.length`, `x.push` (push nur bei storage Arrays!)

→ Storage und Memory Qualifizierer nur bei Referenztypen.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen *CA*-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen *CA*-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen *CA*-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.
- ... können vor v0.6.0 nicht behandelt werden.
  (Ausnahme über low-level calls!)

Fehlerbehandlung

Exceptions ...

- ... setzen *CA*-Zustand vor der *Transaktion*/dem *Message Call* zurück.
- ... können nur vom Aufrufer behandelt werden.
- ... können vor v0.6.0 nicht behandelt werden.
  (Ausnahme über low-level calls!)
- ... können ab v0.6.0 mit `try/catch` behandelt werden.

Exception-Typen

assert für interne Fehler, Zustände die nie erreicht werden können/dürfen
(Exception braucht Gas auf)

```
assert(balances[msg.sender] >= 0)
```

require für Eingabevalidierung etc.
(Gas wird nicht verbraucht, Ab Byzantium HF, Okt 17)

```
require(msg.sender == owner), throw, revert()
```

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    function CoinFactory(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function CreateCoin() public payable fee(1 ether) returns (address) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` *CA* gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    fun
                    new erstellt Message Call
        (Von=this, Zu=null, ..., Daten = <Code of Coin> | owner)
    fun                                                    ress) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` *CA* gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Kind-CAs

Beispiel:

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";

contract CoinFactory is Destructible, Payed{

    function CoinFactory(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function CreateCoin() public payable fee(1 ether) returns (address) {
        return new Coin(msg.sender);
    }
}
```

Anmerkung

Gesamter Code von `Coin` wird in `CoinFacotry` *CA* gespeichert. Potenziell hohe Gas-Kosten.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coi

    function CoinWalletBad(address _o

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Coins per Minter gruppieren und registrieren.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function

    function
        bytes
        bool
        addre
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Lesen von low-level call Rückgabewerten benötigt Assembly, ab v0.5.0 nicht mehr nötig.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mlo
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage
        owners_coins.push
    }
    function Mint_all(add
        address[] storage
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++)
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Bietet volle Kontrolle über den erstellten *Message Call* und Fehlerbehandlung!
ab v0.5.0 verwende call und try/catch

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (Schlecht: low-level calls/assembly):

```
import "./Base.sol";
contract CoinWalletBad is Payed {
    mapping(address => address[]) coins;

    function CoinWalletBad(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(address _new) fee(1 ether) payable public {
        bytes4 sig = bytes4(keccak256("minter()"));
        bool ok = false;
        address minter;
        assembly{
            let g := and(gas,0xEFFFFFFF)
            let inout := mload(0x40)
            mstore(inout, sig)
            ok := call(g, _new, 0, inout, 4, inout, 32) // _new.call(bytes4(keccak256("minter()")));
            minter := mload(inout)
        }
        if(!ok) revert();
        address[] storage owners_coins = coins[minter];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        address[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            var ok = owners_coins[i].call.gas(30000) (bytes4(keccak256("mint(address,uint256)")), to, val);
            if(!ok) revert();
        }
    }
}
```

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Auf Fehler im Callee kann nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity 0.4.0 wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner)

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 et
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Compiler verwendet Interface-Definition um *Message Call* zu erstellen und den Rückgabewert zu „parsen“.

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Auf Fehler im Callee kann nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity 0.4.0 wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function M
        Coin[]                                                    r];
        for(ui
            owners_coins[i].mint.gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Gas und Betrag können wie bei low-level calls gesteuert werden.

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Auf Fehler im Callee kann nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity 0.4.0 wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Interaktion – Andere CAs aufrufen

Beispiel (besser: Interfaces):

```
import "./Coin.sol";
import "./Base.sol";
contract CoinWallet is Payed {
    mapping(address => Coin[]) coins;
    function CoinWallet(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function RegCoin(Coin _new) fee(1 ether) payable public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[_new.minter()];
        owners_coins.push(_new);
    }
    function Mint_all(address to, uint val) public {
        Coin[] storage owners_coins = coins[msg.sender];
        for(uint i=0; i < owners_coins.length; i++) {
            owners_coins[i].mint. gas(30000)(to, val);
        }
    }
}
```

Anmerkungen

Einschränkung Interface: Auf Fehler im Callee kann nicht reagiert werden!

→ Keine Typprüfung zur Laufzeit! Nur Typprüfung gegen Interface. Ab Solidity 0.4.0 wird geprüft, ob Adresse Code enthält.

Decentralized Application (W)

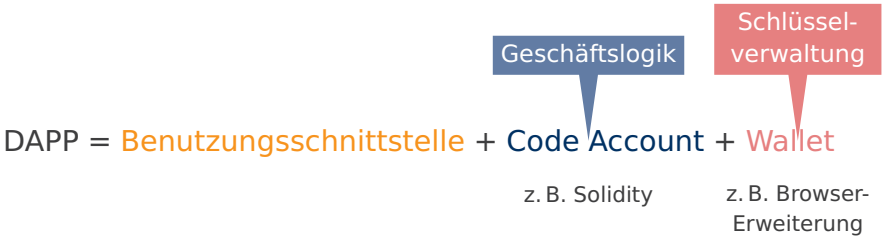
DAPP = Benutzungsschnittstelle + Code Account + Wallet

Decentralized Application (W)

Vertrauensanker

- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.

Decentralized Application (W)



Vertrauensanker

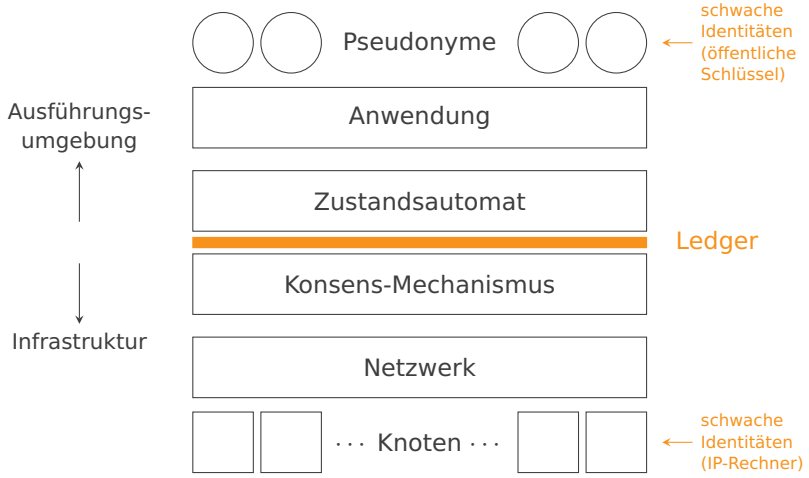
- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.
- Die Sicherheit des Wallets ist notwendig für die eigene Sicherheit.

Decentralized Application (W)

Vertrauensanker

- Der Code Account regelt die Sicherheitsinteressen aller.
- Die Sicherheit des Wallets ist notwendig für die eigene Sicherheit.
- Die Benutzungsschnittstelle definiert die eigene Sicht auf die Interaktion. Sicherheitsrelevante Entscheidungen bedürfen korrekter Information.

Architektur für DAPPs auf Ethereum (W)



Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (*CA*):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed {
    uint public totalReceived = 0;

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function() payable public {
      if(msg.value > 0) {
          GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (*CA*):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed
    uint public totalReceiv

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function() payable public {
      if(msg.value > 0) {
          GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

`indexed`
Nodes erstellen Index für dieses Feld. Effizienter Zugriff auf historische Logeinträge.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (*CA*):

```
import "./Base.sol";
contract GotCoins is Payed {
    uint public totalReceived = 0;

    event GotNewCoins(address indexed lastHop, address indexed signer, uint
        howMuch);

    function GotCoins(address _owner) public Ownable(_owner){}

    function()
      if(msg.v
          GotNewCoins(msg.sender, tx.origin, msg.value);
          totalReceived += msg.value;
      }
    }
}
```

Schreibe Logeintrag.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaS

Event-Handler registrieren wenn `totalReceived >= 2 ether`.
Keine *Transaktion* nötig!
Call fragt lokalen Zustand ab.

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type"
var gotcoinsContract = web3.eth.contract

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contrac

gotcoinsContract.methods.totalReceived.
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('200

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Event-Handler anhand ABI (*Application Binary Interface*) registrieren.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsCon                                  est'})

      gotCoinsEvent.watch((error, res
                           console.log                                 rgs));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Transaktion erstellen, um Event auszulösen.
Transaktion nötig!
Änderung des geteilten Zustandes.

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

→ Nebenläufigkeit beachten wenn Aktionen aufgrund von Zustand ausgeführt werden!

Interaktion mit der Außenwelt

Beispiel (Benutzerschnittstelle, JavaScript, Web3.js):

```
var web3 = require('web3');
var abi = [{"name":"GotNewCoins", "type":"event" ,"inputs":[...],}, ...];
var gotcoinsContract = web3.eth.contract(abi).at('0xdeadbeef');

gotcoinsContract.methods.totalReceived.call().then(res => {
      if(!res.gte(web3.toBigNumber('2000000000000000000'))) return;

      var gotCoinsEvent = gotcoinsContract.GotNewCoins({},
                                                {fromBlock: 0, toBlock: 'latest'})
                                                    ;
      gotCoinsEvent.watch((error, result) =>
                          console.log("Got Coins!" + result + ":" + result.args));

      gotcoinsContract.transfer(web3.toWei(1, "ether"),
                                { from:web3.eth.accounts[0], gas:4000000});
  }).catch(e => console.log(e.message));
```

Anmerkungen

Event = Log, Handler für Events können im Node registriert werden. Über `Web3.js` auch in Webapps möglich.

Achtung: `Web3.js` in ständiger Entwicklung, Interface ändert sich!

→ Nebenläufigkeit beachten wenn Aktionen aufgrund von Zustand ausgeführt werden!

Agenda

A. Überblick: Ethereum aus Entwicklersicht

B. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

C. **Fallstricke und Best Practices**

D. Tools und Ressourcen

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Implikationen

- Als `private` gekennzeichnete Felder können nicht direkt von anderen *CA* gelesen werden, sind aber für jeden Node einsehbar.
  (Kryptographische Commitment Protokolle!)

Fallstricke

Achtung!

Alle Berechnungen sind deterministisch und alle Informationen sind öffentlich.

Implikationen

- Als `private` gekennzeichnete Felder können nicht direkt von anderen *CA* gelesen werden, sind aber für jeden Node einsehbar.
  (Kryptographische Commitment Protokolle!)
- Da alle Berechnungen deterministisch sind existiert kein echter Zufall in Ethereum.
  (Bootstrapen von Zufallszahlen schwierig. Oft werden TTP verwendet.)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Fallstricke

Achtung!

Miner können das Resultat der *CA* Ausführung beeinflussen.

Hintergrund

- `block.timestamp` kann zu einem gewissen Maße vom Miner gewählt werden.
  (Verwendet um zeitabhängige Aktionen zu modellieren)
- `block.blockhash(n)` kann zu einem gewissen Maße vom Miner beeinflusst werden.
  (Verwendet z.b. als PRNG seed. Nicht einfach voraussehbar, aber kein Zufall!)
- Miner können eigene Transaktionen an beliebigen stellen im Block einfügen, sie bestimmen die Ausführungsreihenfolge der Transaktionen.

Implikationen

- Miner können die Ausführung von CAs, durch gezieltes Anpassen von `block.timestamp`, `block.blockhash(n)` oder durch Einfügen von neuen Transaktionen bzw. Änderungen der Ausführungsreihenfolge, beeinflussen.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- *CA* und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- *CA* und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="").`

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- *CA* und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="").`
- Ist `x` ein *CA* so wird die Fallback-Funktion ausgeführt. Dies schlägt z.b. fehl wenn die Fallback-Funktion mehr als `2300` Gas benötigt.

Fallstricke

Achtung!

Ether überweisen ist nicht trivial.

Hintergrund

- *CA* und *EOA* sollen nicht unterschieden werden. Das verhalten bei Überweisungen ist jedoch unterschiedlich.
- Standard Überweisungen werden mit `x.transfer(value)` oder `x.send(value)` ausgeführt. *Message Call*: `(Von=this, Zu=x, Betrag=value, Gas=2300, Daten="")`.
- Ist `x` ein *CA* so wird die Fallback-Funktion ausgeführt. Dies schlägt z.b. fehl wenn die Fallback-Funktion mehr als `2300` Gas benötigt.

Implikationen

- Sender und/oder Empfänger können blockiert werden.
  (Bis zur Handlungsunfähigkeit.)

Fallstricke

Beispiel (problematisch! blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch! blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch! blockierter CA):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Ein nicht trivialer fallback reicht um den CA zu blockieren
          toPay[i].transfer(1 ether);
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch!!!):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Caller kann mehr Gas einsetzen um nicht triviale fallbacks zu
               erlauben
          // revert() immer noch ein Problem
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch!!!):

```
contract attacker{
  uint dummy;
  function() payable public {
    dummy = msg.value; // oder einfach revert(); SSTORE 5000/20000 Gas
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          // Wenn ein transfer fehlschlaegt, schlagen alle fehl
          // Caller kann mehr Gas einsetzen um nicht triviale fallbacks zu
               erlauben
          // revert() immer noch ein Problem
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch!!! Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    ctr++;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-Enter Victim!
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (problematisch!!! Wiedereintritt):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    ctr++;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-Enter Victim!
  }
}
contract victim {
  address[] toPay;
  bool payedOut = false;

  function payout_push() public {
      if(!payedOut){
        for(uint i=0; i<toPay.length; i++){
          var ok = toPay[i].call.value(1 ether)();
          if(!ok) revert();
        }
        payedOut = true;
      }
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);          // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;          // Effects
      msg.sender.transfer(1 ether);             // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);          // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;          // Effects
      msg.sender.transfer(1 ether);             // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter Victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);                  // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;                  // Effects
      if(!msg.sender.call.value(1 ether)()) revert();   // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

Beispiel (besser: checks → effects → interaction, pull):

```
contract attacker{
  uint ctr=0;
  function() payable public {
    if(ctr > 1) return;
    msg.sender.call(bytes4(keccak256("payout_push()"))); // Re-enter Victim!
    ctr++;
  }
}
contract victim {
  enum State { NotRegistered, Pay, Payed }
  mapping(address => State) toPay;

  function payout_pull() public {
      var userState = toPay[msg.sender];
      require(userState == State.Pay);                  // Checks
      toPay[msg.sender] = State.Payed;                  // Effects
      if(!msg.sender.call.value(1 ether)()) revert();   // Interaction
  }
}
```

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference

```
for(var i=0; i<2000; i++)
```

→ `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)
- Forced Ether Transfer
  `selfdestruct(0xdeadbeef)` → `0xDEADBEEF` kriegt Saldo, kann nicht ablehnen

Fallstricke

- Block Gas Limit
  (z.b. beim löschen großer Arrays)
- Solidity Type Inference
  `for(var i=0; i<2000; i++)` → `typeof(i) == uint8` → Endlosschleife
- Callstack Limit
  (max. 1024 Stack Frames)
- Forced Ether Transfer
  `selfdestruct(0xdeadbeef)` → `0xDEADBEEF` kriegt Saldo, kann nicht ablehnen
- ...

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gas Konsum vermeiden → gegen blockierte *CA*

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gas Konsum vermeiden → gegen blockierte *CA*
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gas Konsum vermeiden → gegen blockierte *CA*
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt
- Geld abheben: pull anstatt push → gegen blockierte *CA*
  (Bessere Isolation von Ressourcen)

Best Practices

- Schleifen und nicht konstanten Gas Konsum vermeiden → gegen blockierte *CA*
- Checks Effects Interaction Pattern → gegen Wiedereintritt
- Geld abheben: pull anstatt push → gegen blockierte *CA*
  (Bessere Isolation von Ressourcen)
- State Machines als Modellierungstool
  (Von transaktions/message übergreifenden Abläufen)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle

→ `Ownalble`, etc.

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-safe Modus?

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-safe Modus?
  - Code „Ändern“? → Proxy Pattern

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-safe Modus?
  - Code „Ändern“? → Proxy Pattern
    (Achtung: Kann zu Vertrauensproblemen führen.)

Best Practices (Forts.)

- Zugriffskontrolle → `Ownalble`, etc.
- Plane den Worst-Case
  (Wie behalte ich die Kontrolle wenn etwas schief läuft?)
  - Abschalten? → `Destructable`, etc.
  - Fail-safe Modus?
  - Code „Ändern“? → Proxy Pattern
    (Achtung: Kann zu Vertrauensproblemen führen.)
- Software Testing, Bug-Bounties, Formale Verifikation . . .

Agenda

A. Überblick: Ethereum aus Entwicklersicht

B. Smart Contract-Programmierung mit Solidity anhand von Beispielen

C. Fallstricke und Best Practices

D. **Tools und Ressourcen**

Ressourcen

Offizielle Dokumentation:

Solidity, *Ethereum*, *Web3.js*

Design Patterns und Beispiele:

Open-Zeppelin

Fragen and die Community:

Solidity Gitter Chat

Entwicklerwerkzeuge:

- *Remix IDE github*, *Remix IDE online*
- *Frameworks: Truffle*, *Embark*
- *Solidity Compiler*

Node-Implementierungen:

parity, *geth*

Fragen?