Lineare Algebra für Inf. und Ing.

Dr. Gerhard Baur

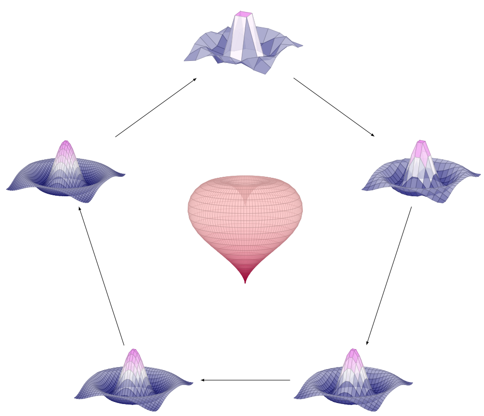
in:

Das Schweigen der Lemma

Mitschrieb von

Florian Sihler

Version vom:
9. April 2019



and i promise you. . . the time shall come and you will know. . .
the *darkness will rise* and it will shatter everything below.

you will know for the birds falling from the skies,
you will know for the flames, reflecting in your eyes
you will know there will be; no place to hide

because when the darkness rise'
It shall be the only thing alive.

Florian Sihler, 23.12.2018

Contents

1 Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns **1**

1.1 IntroMintro 1

1.2 BINITRINTO 10

Definitionen **11**

Sätze **12**

Zusammenfassungen **13**

Übungsblätter **14**

1

Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns

Dies ist ein sehr wichtiges Kapitel

1.1 IntroMintro

h	b
c	d

Definition 1 –

Important NoName DEF

Satz 1 – Übrigens

Übrigens - ich mag Züge

Definition 2 – Important

Important AName DEF

Definition 3 – Hallo Mama

Dies ist ein sehr tolles und interessantes Definitiönchen

Bemerkung 1.1 – Hallo Lama

Dies ist ein sehr tolles und interessantes Bemerkungli

Übungsblatt 13 Tolles Übungsblatt

Aufgabe 13.1 – Codes *4 Punkte*

Gegeben sei der Code $C = \{00110, 11010, 10001, 01101\}$.

a) Ist C linear?
b) Berechnen Sie die Hammingdistanz $d(01101, 11010)$.
c) Über einen verrauschten Kanal wurden die Wörter 01010 sowie 10100 empfangen. Dekodieren Sie, sofern möglich, mittels des Maximum-Likelihood Verfahrens die empfangenen Wörter.
d) Bestimmen Sie das maximale t, sodass C t-Fehler korrigierend ist.

Lösung:

a) Offensichtlich handelt es sich bei C nicht um einen linearen Code. So gilt zum Beispiel: $00110 \oplus 11010 = 11100 \notin C$
b) Es gilt: $d(01101, 11010) = 4$ (da: $01101 \oplus 11010 = 10111$ und $w(10111) = 4$)
c) Wir betrachten die Fälle getrennt:
   - 01010: Formal berechnen wir $d(a, c)\ \forall c \in C$:

     $$d(01010, 00110) = 2 \qquad d(01010, 10001) = 4$$
     $$d(01010, 11010) = 1 \qquad d(01010, 01101) = 3$$

     Da hier eindeutig ein Wort zugeordnet werden kann sagen wir: Nach dem Maximum-Likelihood Verfahren evaluiert 01010 zu 11010
   - 10100: Wieder berechnen wir für jedes Codewort die Hammingdistanz:

     $$d(10100, 00110) = 2 \qquad d(10100, 10001) = 2$$
     $$d(10100, 11010) = 3 \qquad d(10100, 01101) = 3$$

     Da sich hier kein Codwort eindeutig zuordnen lässt ist eine Dekodierung nicht möglich!
d) Wir kennen die Formel $t = \left\lfloor \frac{d-1}{2} \right\rfloor$ müssen nun also nur noch den Minimalabstand von C $(d(C))$ berechnen:

   $$d(00110, 11010) = 3 \qquad d(00110, 01101) = 3 \qquad d(11010, 01101) = 4$$
   $$d(00110, 10001) = 4 \qquad d(11010, 10001) = 3 \qquad d(10001, 01101) = 3$$

   Mit $d(C) = 3$ erhalten wir: $t = \left\lfloor \frac{3-1}{2} \right\rfloor = 1$

Aufgabe 13.2 – Linearer Code *2 Punkte*

Gegeben sei der folgende Code $C = \{11100, 10010, 01010\}$.

a) Ergänzen Sie C zu einem linearen Code D.
b) Was ist der höchste Wert für k, sodass D k-systematisch ist?

Lösung:

Im Folgenden wurde kramphaft versucht den Überblick zu erhalten:

a) Hierzu verxoren wir alle Codwörter miteinander, bis kein neues Codewort mehr entsteht (hier überschwänglich ausgeführt). Wichtig sei angemekrt, da die Codwörter auch mit sich selbst verxort werden liegt 00000 immer in D. Wir erhalten weiter:

$$\begin{aligned} 11100 \oplus 10010 &= 01110 \\ 11100 \oplus 01010 &= 10110 \\ 10010 \oplus 01010 &= 11000 \\ 11100 \oplus 01110 &= 10010 \\ 11100 \oplus 10110 &= 01010 \\ 11100 \oplus 11000 &= 00100 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 11100 \oplus 00100 &= 11000 \\ 10010 \oplus 01110 &= 11100 \\ 10010 \oplus 10110 &= 00100 \\ 10010 \oplus 00100 &= 10110 \\ 01010 \oplus 11000 &= 10010 \end{aligned}$$

Damit erhalten wir den Code:

$$D = \{11100, 10010, 01010, 01110, 10110, 11000, 00100, 00000\}$$

b) Relativ leicht sehen wir, dass D in den Stellen $2-4$ (also $k=3$) systematisch ist:

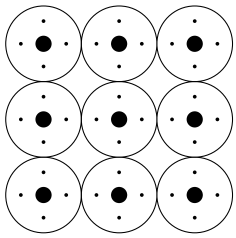
$$\begin{aligned} 000 &\Rightarrow 0\mathbf{000}0 \\ 001 &\Rightarrow 1\mathbf{001}0 \\ 010 &\Rightarrow 0\mathbf{010}0 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} 011 &\Rightarrow 1\mathbf{011}0 \\ 100 &\Rightarrow 1\mathbf{100}0 \\ 101 &\Rightarrow 0\mathbf{101}0 \end{aligned} \qquad \begin{aligned} 110 &\Rightarrow 1\mathbf{110}0 \\ 111 &\Rightarrow 0\mathbf{111}0 \end{aligned}$$

Aufgabe 13.3 – Allgemeine Hammingschranke *3 Punkte*

Sei also C ein t-Fehler-korrigierender Code der Länge n mit Alphabetgröße σ. Leiten Sie die allgemeine Hammingschranke für C in Abhängigkeit von σ her. Benutzen Sie dazu (analog zu binären Codes) den Hammingabstand als Anzahl der Stellen, an denen sich zwei Vektoren $x, y \in \Sigma^n$ unterscheiden.

Lösung:

Wie bereits in der Vorlesung erwähnt können wir uns die Codewörter eines Codes als Punkte in einem σ-Dimensionalem Körper vorstellen. Für binäre Codes entspricht dies einer Ebene. Bleiben wir zur Anschaulichkeit erstmal bei binären Codes und konstruieren uns nun Kreise um jedes Codewort mit maximaler Größe, so sodass sich keiner der Kreise mit einem anderen überschneidet:



Dies entspricht exakt der Definition eines t-Perfekten Codes. Im Zweidimensionalen bedeutet dies, dass alle Kreise den Radius t besitzen. Im 3-Dimensionalen entspricht diese Struktur einer Kugel und ab dem 4-Dimensionalen verabschiedet sich unsere Vorstellungskraft auch wenn die allgemeine Definition dieselbe bleibt:

$$B_t(c) := \{x \in \Sigma^n \mid d(x, c) \leq t\}$$

In Worten: Die „Kugel" um $c \in C$ enthält alle Codewörter die zu c einen Hammingabstand $\leq t$ besitzen. Bei einem perfekten binären Code wissen wir, dass die Kugel genau $|B_t(c)|$ Elemente enthalten kann:

$$|B_t(c)| = \sum_{e=0}^{t} \binom{n}{e}$$

Wobei n nach wie vor die Länge der Codewörter ist. Dies rührt aus folgender eigenschaft: Für l Fehlstellungen ($d(x, c) = l$) gibt es l *aus* n mögliche Kombinationen wie diese im Codewort auftreten können (Eigenschaft Binomialkoeffizient). Haben wir einen Binärcode so gibt es nur 2 Fälle, für die 1 Ziffer verschieden sein kann: $1 - 0$ oder eben $0 - 1$. Haben wir aber nun einen Code über ein Alphabet mit $\sigma = 3$, so haben wir einige Stellungen mehr: $0 - 2$, $1 - 2, \ldots$

Insgesamt finden wir genau $(\sigma - 1)^l$ solcher zusätzlicher Varianten. Somit ergibt sich allgemein für die Kardinalität von $B_t(c)$:

$$|B_t(c)| = \sum_{e=0}^{t} (\sigma - 1)^e \binom{n}{e}$$

Ein Code mit $|C|$ Wörtern besitzt zudem genau $|C|$ solcher Kugeln. Wir schreiben also:

$$|\Sigma^n| \geq |C| \cdot |B_t(c)|$$

Das $\geq$ anstelle des $=$ steht hierbei, da wir ja nur bei einem perfekten Code von Gleichheit sprechen und es sich hierbei auch um die obere Schranke handelt (siehe Kugelgrafik). Mit $|\Sigma^n| = \sigma^n$ können wir nun noch nach $|C|$ umformen und erhalten somit unsere allgemeine Hammingschranke:

$$|C| \leq \frac{\sigma^n}{\sum_{e=0}^{t} (\sigma - 1)^e \binom{n}{e}}$$

Aufgabe 13.4 – Perfektion *3 Punkte*

a) Gegeben sei ein binärer $[23, 12, 7]$-Code. Ist dieser Code perfekt? Begründen Sie Ihre Antwort.

b) Ein binärer Blockcode $\mathcal{C}$ der Länge $n = 5$ kann bis zu 2 Fehler korrigieren. Wie viele Codewörter hat $\mathcal{C}$ höchstens? Geben Sie einen konkreten Code mit diesen Eigenschaften an.

c) Zeigen Sie, dass es keinen 1-perfekten binären Blockcode der Länge 13 gibt.

Lösung:

a) Für einen t-Perfekten Code muss gelten:
$|C| = 2^n \Big/ (\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \ldots + \binom{n}{t})$ Für t erhalten wir gemäß der Formel: $t = \lfloor \frac{d-1}{2} \rfloor = \lfloor \frac{7-1}{2} \rfloor = 3$. Setzen wir nun unsere Werte in die Formel ein erhalten wir (da Binär gilt: $|C| = 2^k$):
$|C| = 2^{12} \overset{!}{=} 2^{23} \Big/ \left(\binom{23}{0} + \binom{23}{1} + \binom{23}{2} + \binom{23}{3}\right) = 4096 = 2^{12}$ ✓. Es handelt sich also dabei um einen (3-)perfekten Code!

b) Wählen wir für $t = \lfloor \frac{d-1}{2} \rfloor = 2$ den Minimalabstand d minimal ergibt sich $d = 5$ und wir sehen offensichtlich, dass damit $\mathcal{C}$ nur 2 Codewörter haben kann, nämlich: $\mathcal{C} = \{00000, 11111\}$.(Die Aufgabe wurde so interpretiert, dass ein Code der Länge 5 gesucht wird, welcher 2-Fehler korrigierend ist und nicht einfach 2^5 als die maximale Anzahl möglicher binärer Blockcodes mit der Länge 5)

c) Wir nehmen uns dazu wieder die Formel:
$|C| = 2^n \Big/ (\binom{n}{0} + \binom{n}{1} + \ldots + \binom{n}{t})$
Wir wählen gemäß den Informationen $n = 13$. Es ergibt sich (mit logisch $n \geq k \in \mathbb{N}$):
$|C| = 2^k \overset{?}{=} 2^{13} \Big/ \left(\binom{13}{0} + \binom{13}{1}\right) = \frac{2^{13}}{14} = 585.14\ldots$. Offensichtlich ist die Gleichheit für kein $k \in \mathbb{N}$ erfüllt $\Rightarrow$ Es gibt keinen 1-perfekten Blockcode der Länge 13.

Aufgabe 13.5 – Paritätscode *4 Punkte*

Gegeben sei ein linearer Binärcode C der Länge n. Wir hängen an jedes Wort in C ein Paritätsbit an und erhalten so den Code C':

$$C' := \bigcup_{(c_1,\ldots,c_n)\in C} \{(c_1,\ldots,c_n,\, c_1 \oplus \ldots \oplus c_n)\}\,.$$

a) Zeigen Sie, dass C' ebenfalls ein linearer Code ist.
b) Sei nun C ein 2-perfekter Code. Leiten Sie den Minimalabstand von C' her.

Lösung:

a) Seien im folgenden, o.B.d.A, $a, b, c, d \in \mathcal{C}$ und $w(a) \equiv w(b) \equiv 0 \bmod 2$, $w(c) \equiv w(d) \equiv 1 \bmod 2$. Aufgrund der Linearität von $\mathcal{C}$ genügt es das Paritätsbit für folgende Fälle zu betrachten: $a \oplus b, b \oplus c$ (da: $c \oplus b$ analog) und $c \oplus d$. Es ergibt sich:
$p(a \oplus b) = 0 = p(a) \oplus p(b), p(b \oplus c) = 1 = p(b) \oplus p(c), p(c \oplus d) = 0 = p(c) \oplus p(d)$. Somit gilt offensichtlich die Linearität, auch wenn $\mathcal{C}$ zum Beispiel keine c, d enthalten würde, da die Linearität für alle Fälle zutrifft und somit lediglich weniger Fälle betrachtet werden müssten. Damit ist gezeigt, dass es sich bei $\mathcal{C}'$ ebenfalls um einen linearen Code handelt. (Anschaulich: das Paritätsbit, welches sich ergibt wenn man das 'verxorte' Wort (jeweils ohne Paritätsbit) betrachtet ist dasselbe wie das Codewort, was sich ergibt wenn man die Paritätsbits der beiden Worte 'verxort') ■

b) Da $\mathcal{C}$ 2-Perfekt ist erhalten wir für den Mindestabstand von $\mathcal{C}$:
$t = 2 = \lfloor \frac{d-1}{2} \rfloor \Rightarrow d = 5, 6$. Auf der Suche nach dem Minimalabstand von $\mathcal{C}'$ wählen wir $d = 5$. Seien nun im folgenden $a, b \in \mathcal{C}$und a', b' ihre entsprechenden pendants in $\mathcal{C}'$. Wir merken, dass sich, wenn $d(a, b) = 5$, der Abstand immer um 1 vergrößert (es unterscheidet sich eine ungerade Anzahl an Bits $\Rightarrow p(a) = \neg p(b) \Rightarrow$ Abstand $+1$ (das Paritätsbit invertiert sich)), es gilt also : $d(a', b') = d(a, b) + 1$. Damit leitet sich ab: der Minimalabstand von $\mathcal{C}'$ ist, unter diesen Bedingungen, 6.

FFdefaultFFFALSEAANam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.

Definition 4 – Matching

Ein Matching (auch genannt: „Matsching" tihihi) in einem Graphen ist eine Teilmenge der Form: $M \subseteq E$ der Kanten, so dass keine zwei Kanten einen Endknoten gemeinsam haben. ein Matching M heißt **perfekt**, falls durch die Kanten in M alle Knoten des Graphen erfasst werden.
Das bedeutet:

$$M \text{ ist perfekt} \Leftrightarrow |M| = \frac{|V|}{2}$$

Allgemein gilt:

$$|M| \leq \left\lfloor \frac{|V|}{2} \right\rfloor$$

Etiam euismod. Fusce facilisis lacinia dui. Suspendisse potenti. In mi erat, cursus id, nonummy sed, ullamcorper eget, sapien. Praesent pretium, magna in eleifend egestas, pede pede pretium lorem, quis consectetuer tortor sapien facilisis magna. Mauris quis magna varius nulla scelerisque imperdiet. Aliquam non quam. Aliquam porttitor quam a lacus. Praesent vel arcu ut tortor cursus volutpat. In vitae pede quis diam bibendum placerat. Fusce elementum convallis neque. Sed dolor orci, scelerisque ac, dapibus nec, ultricies ut, mi. Duis nec dui quis leo sagittis commodo.
Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.
Etiam ac leo a risus tristique nonummy. Donec dignissim tincidunt nulla. Vestibulum rhoncus molestie odio. Sed lobortis, justo et pretium lobortis, mauris turpis condimentum augue, nec ultricies nibh arcu pretium enim. Nunc purus neque, placerat id, imperdiet sed, pellentesque nec, nisl. Vestibulum imperdiet neque non sem accumsan laoreet. In hac habitasse platea dictumst. Etiam condimentum facilisis libero. Suspendisse in elit quis nisl aliquam dapibus. Pellentesque auctor sapien. Sed egestas sapien nec lectus. Pellentesque vel dui vel neque bibendum viverra. Aliquam porttitor nisl nec pede. Proin mattis libero vel turpis. Donec rutrum mauris et libero. Proin euismod porta felis. Nam lobortis, metus quis elementum commodo, nunc lectus elementum mauris, eget vulputate ligula tellus eu neque. Vivamus eu dolor.
Nulla in ipsum. Praesent eros nulla, congue vitae, euismod ut, commodo a, wisi. Pellentesque habitant morbi tristique senectus et netus et malesuada fames ac turpis egestas. Aenean nonummy magna non leo. Sed felis erat, ullamcorper in, dictum non, ultricies ut, lectus. Proin vel arcu a odio lobortis euismod. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Proin ut est. Aliquam odio. Pellentesque

massa turpis, cursus eu, euismod nec, tempor congue, nulla. Duis viverra gravida mauris. Cras tincidunt. Curabitur eros ligula, varius ut, pulvinar in, cursus faucibus, augue.
Nulla mattis luctus nulla. Duis commodo velit at leo. Aliquam vulputate magna et leo. Nam vestibulum ullamcorper leo. Vestibulum condimentum rutrum mauris. Donec id mauris. Morbi molestie justo et pede. Vivamus eget turpis sed nisl cursus tempor. Curabitur mollis sapien condimentum nunc. In wisi nisl, malesuada at, dignissim sit amet, lobortis in, odio. Aenean consequat arcu a ante. Pellentesque porta elit sit amet orci. Etiam at turpis nec elit ultricies imperdiet. Nulla facilisi. In hac habitasse platea dictumst. Suspendisse viverra aliquam risus. Nullam pede justo, molestie nonummy, scelerisque eu, facilisis vel, arcu.

Bemerkung 1.2 – Echt wichtig

Dies ist ein Link!!!!!

Link!!!!! Aliquam lectus. Vivamus leo. Quisque ornare tellus ullamcorper nulla. Mauris porttitor pharetra tortor. Sed fringilla justo sed mauris. Mauris tellus. Sed non leo. Nullam elementum, magna in cursus sodales, augue est scelerisque sapien, venenatis congue nulla arcu et pede. Ut suscipit enim vel sapien. Donec congue. Maecenas urna mi, suscipit in, placerat ut, vestibulum ut, massa. Fusce ultrices nulla et nisl.

Satz 2 – Ich heiße Marvin

Halt die Klappe Markus!!!
Aber Marvin??? Nam dui ligula, fringilla a, euismod sodales, sollicitudin vel, wisi. Morbi auctor lorem non justo. Nam lacus libero, pretium at, lobortis vitae, ultricies et, tellus. Donec aliquet, tortor sed accumsan bibendum, erat ligula aliquet magna, vitae ornare odio metus a mi. Morbi ac orci et nisl hendrerit mollis. Suspendisse ut massa. Cras nec ante. Pellentesque a nulla. Cum sociis natoque penatibus et magnis dis parturient montes, nascetur ridiculus mus. Aliquam tincidunt urna. Nulla ullamcorper vestibulum turpis. Pellentesque cursus luctus mauris.
Nulla malesuada porttitor diam. Donec felis erat, congue non, volutpat at, tincidunt tristique, libero. Vivamus viverra fermentum felis. Donec nonummy pellentesque ante. Phasellus adipiscing semper elit. Proin fermentum massa ac quam. Sed diam turpis, molestie vitae, placerat a, molestie nec, leo. Maecenas lacinia. Nam ipsum ligula, eleifend at, accumsan nec, suscipit a, ipsum. Morbi blandit ligula feugiat magna. Nunc eleifend consequat lorem. Sed lacinia nulla vitae enim. Pellentesque tincidunt purus vel magna. Integer non enim. Praesent euismod nunc eu purus. Donec bibendum quam in tellus. Nullam cursus pulvinar lectus. Donec et mi. Nam vulputate metus eu enim. Vestibulum pellentesque felis eu massa.
Quisque ullamcorper placerat ipsum. Cras nibh. Morbi vel justo vitae lacus tincidunt ultrices. Lorem ipsum dolor sit amet, consectetuer adipiscing elit. In hac habitasse platea dictumst. Integer tempus convallis augue. Etiam facilisis. Nunc elementum fermentum wisi. Aenean placerat. Ut imperdiet, enim sed gravida sollicitudin, felis odio placerat quam, ac pulvinar elit purus eget enim. Nunc vitae tortor. Proin tempus nibh sit amet nisl. Vivamus quis tortor vitae risus porta vehicula.
Fusce mauris. Vestibulum luctus nibh at lectus. Sed bibendum, nulla a faucibus semper, leo velit ultricies tellus, ac venenatis arcu wisi vel nisl. Vestibulum diam. Aliquam pellentesque, augue quis sagittis posuere, turpis lacus congue quam, in hen-

drerit risus eros eget felis. Maecenas eget erat in sapien mattis porttitor. Vestibulum porttitor. Nulla facilisi. Sed a turpis eu lacus commodo facilisis. Morbi fringilla, wisi in dignissim interdum, justo lectus sagittis dui, et vehicula libero dui cursus dui. Mauris tempor ligula sed lacus. Duis cursus enim ut augue. Cras ac magna. Cras nulla. Nulla egestas. Curabitur a leo. Quisque egestas wisi eget nunc. Nam feugiat lacus vel est. Curabitur consectetuer.
Link!!!!!

Beweis 1.1 – Lemmataparadoxon

Ich nutze meine Lemmas ja eher zum einschlafen!
Morbi luctus, wisi viverra faucibus pretium, nibh est placerat odio, nec commodo wisi enim eget quam. Quisque libero justo, consectetuer a, feugiat vitae, porttitor eu, libero. Suspendisse sed mauris vitae elit sollicitudin malesuada. Maecenas ultricies eros sit amet ante. Ut venenatis velit. Maecenas sed mi eget dui varius euismod. Phasellus aliquet volutpat odio. Vestibulum ante ipsum primis in faucibus orci luctus et ultrices posuere cubilia Curae; Pellentesque sit amet pede ac sem eleifend consectetuer. Nullam elementum, urna vel imperdiet sodales, elit ipsum pharetra ligula, ac pretium ante justo a nulla. Curabitur tristique arcu eu metus. Vestibulum lectus. Proin mauris. Proin eu nunc eu urna hendrerit faucibus. Aliquam auctor, pede consequat laoreet varius, eros tellus scelerisque quam, pellentesque hendrerit ipsum dolor sed augue. Nulla nec lacus.
Suspendisse vitae elit. Aliquam arcu neque, ornare in, ullamcorper quis, commodo eu, libero. Fusce sagittis erat at erat tristique mollis. Maecenas sapien libero, molestie et, lobortis in, sodales eget, dui. Morbi ultrices rutrum lorem. Nam elementum ullamcorper leo. Morbi dui. Aliquam sagittis. Nunc placerat. Pellentesque tristique sodales est. Maecenas imperdiet lacinia velit. Cras non urna. Morbi eros pede, suscipit ac, varius vel, egestas non, eros. Praesent malesuada, diam id pretium elementum, eros sem dictum tortor, vel consectetuer odio sem sed wisi.
Link!!!!!

Lemma 1.1 – Wichtig

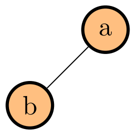
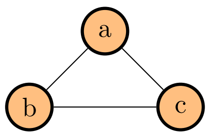
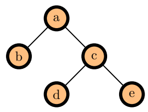
Hier ist nichts
gar
Link!!!!!

Link!!!!!

1.2 BINITRINTO

Beispiel 1.1 – Binärbäume

Im folgenden seiein hier wichtige Beispiele präsentiert:

	✓, da ein einzelner Knoten bereits ein gültiger Binärbaum ist.		✗, da jeder Knoten entweder 2 oder 0 Kindknoten haben muss.
	✗, da es keine „Ringe“ geben darf.		✓, da jeder Knoten 0 oder 2 Kindknoten besitzt

Aufgabe 13.6 – Hallo Mama *1 Punkt*

Diese Aufgabe ist wichtig !

Aufgabe 13.7 – Hallo Mama *42 Punkte*

Diese ist noch viel wichtiger sie gibt 42 mal so viel Punkte!

Alle Definitionen

Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns **1**
1 📌 1
2 📌 Important 1
3 Hallo Mama 1
4 Matching 7

Alle Sätze

Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns **1**
1 Übrigens 1
2 Ich heiße Marvin 8

Alle Zusammenfassungen

Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns 1

Alle Übungsblätter

Allgemeine Grundlagen ein sehr langes Kapitelnamen gedöns 1
13 Tolles Übungsblatt 2