

KLINGER Kempchen GmbH

Im Waldteich 21
D-46147 Oberhausen
Telefon: 0208 8482 0

DIN EN 1591-1 „PLUS“

Erweiterte Bewertung von Flanschverbindungen nach DIN EN 1591-1
(2021) und Einteilung nach Klassen

Dokumentenstatus					
<input type="checkbox"/> Entwurf		<input checked="" type="checkbox"/> Final		<input checked="" type="checkbox"/> Öffentlich	
				<input type="checkbox"/> Vertraulich	
Revisions- & Prüfverzeichnis					
Revision	Beschreibung	Ersteller		Geprüft	
00	Ersterstellung	02.07.2024	C. Seifert	03.07.2024	T. van Lück / F. Beisenbruch
01	Formatierung	24.09.2024	L. Hönig	02.10.2024	T. van Lück
02					
03					
04					

Die Verwendung von Inhalten, Graphiken, Tabellen und Texten oder das Zitieren von Texten oder Aussagen ist ohne Genehmigung der Fa. KLINGER Kempchen GmbH nicht erlaubt.



1 Einleitung

Mit der diesjährig anstehenden, offiziellen Verabschiedung der neu überarbeiteten 2021er Version der DIN EN 1591-1 werden zwei signifikante Fehler behoben, die die gesamte, anwendende Industrie über das letzte Jahrzehnt teils vor nennenswerte Probleme gestellt hat.

Zum einen wird über die Rückkehr zum Kriechrelaxationsfaktor (PQR), anstatt des aktuell verwendeten Relaxationsweges ($\Delta_e G_c$), ein mathematischer Fehler behoben, der in der aktuellen 2014er Version dazu geführt hat, dass für sehr große Dichtungen die Dichtungs-Relaxation praktisch gar nicht und für kleine Dichtungen ($\ll DN40$) überschätzt wird.

Zum anderen gab es bereits seit der ersten Version der DIN EN 1591-1 aus dem Jahr 2001 einen fehlerhaften Hebelarmterm, der für bestimmte Hebel- und Kraftverhältnisse zu massiv unterschätzten Flanschauslastungen führen konnte. Dieser Fehler wird nun mit der neuen 2021er Version der DIN EN 1591-1 erstmalig korrigiert. Glücklicherweise sind keine größeren Havarien aufgrund des fehlerhaften Hebelarmterms bekannt, es gab jedoch eine Reihe von Apparatebauern, die nach einem missglückten Drucktest feststellen mussten, dass Ihre gerade erst kostenintensiv bearbeiteten Hochdruckflansche nun unbrauchbar plastisch verformt waren, obwohl die Verbindung im Vorfeld vollumfassend mittels der DIN EN 1591-1 überprüft wurde.

KLINGER Kempchen war zusammen mit einigen anderen Firmen maßgeblich an der Identifizierung und Korrektur der beiden vorab beschriebenen Fehler beteiligt und ist erfreut in absehbarer Zukunft wieder auf eine vollumfassend anwendbare DIN EN 1591-1 zurückgreifen zu können.

Als zusätzliche Änderungen steht es dem Anwender in der 2021 Version erstmalig frei, entweder die Bauteilauslastungen in den Folgezuständen auf Basis der benötigten Mindestdichtungskraft ($Q_{smin} \times A_{Geff}$) oder auf Basis der tatsächlichen aus der Montagekraft resultierenden Dichtungskraft ($Q_{GI} \times A_{Geff}$) zu ermitteln. Die erste Variante entspricht dabei weitestgehend dem Vorgehen in der 2009er Version, die zweite dem Vorgehen der 2014er Version.

Der 2009er DIN EN 1591-1 Algorithmus berechnete die Bauteilauslastungen in allen Folgezuständen nicht auf Basis der tatsächlich erwarteten Spannungen, sondern auf Basis der Bauteilspannungen, die noch vorliegen würden, kurz bevor das System die Grenze zum „undicht“ werden erreicht. Diese Berechnung entspricht – hinsichtlich der Auslastung - grob der Philosophie des amerikanischen Taylor-Forge-Ansatzes, lässt aber leider keine brauchbare Bewertung der resultierenden Bauteilauslastungen bzw. der tatsächlich zu erwartenden Bauteilplastifizierungen zu.

Der – von der Fa. AMTEC in deren Berechnungsprogramm „TEMESfl.cal“ bereits vor Jahren eingeführte – „AMTEC-Algorithmus“ als Zusatz zum 2009er DIN EN 1591-1 Algorithmus greift der 2014er Version der DIN EN 1591-1 vor:

Damit wird die Bauteilauslastung in allen Folgezuständen auf Basis der, bezogen auf die gewählte Montagekraft, tatsächlich zu erwartenden Bauteilspannungen in den Folgezuständen berechnet. Dies war aus der Sicht von KLINGER Kempchen über lange Zeit der beste Ansatz, um Flanschverbindungen rechnerisch zu überprüfen und zu bewerten und wurde dementsprechend auch so angewendet.

Die spätere 2014er DIN EN 1591-1 Version greift den AMTEC-Algorithmus auf und führt damit, bezogen auf die Definition der Bauteilbelastungen, prinzipiell zu vergleichbaren Ergebnissen. Im 2014er Algorithmus wurde für die rechnerische Betrachtung der Dichtungsrelaxation (PQR vs. Delta_eGc) ein mathematischer Fehler eingebaut, so dass diese Version der DIN EN 1591-1 aus unserer Sicht nicht zuverlässig angewendet werden konnte.

Aus Sicht von KLINGER Kempchen bietet die Anwendung der nun korrigierten Version der DIN EN 1591-1 die mit Abstand beste Möglichkeit das Systemverhalten von Flanschverbindungen unter den verschiedenen Betriebszuständen im Vorfeld analytisch zu beschreiben. Hinsichtlich der Betrachtung der zu erwartenden Leckage-Wahrscheinlichkeit stellt sie aus der Sicht und Einschätzung von KLINGER Kempchen sogar die einzige verfügbare analytische Methode dar.

2 DIN EN 1591-1 „PLUS“

Offen bleiben die finale Bewertung und Einordnung des so ermittelten Systemverhaltens der Flanschverbindungen. Auf Grundlage der langjährigen Erfahrungen in der Anwendung der Norm für unterschiedlichste Flanschkombinationen im weltweiten Einsatz und unserer Erfahrung als Dichtungshersteller kann die Durchführung der reinen DIN EN 1591-1 Berechnung flanschsystemabhängig lediglich als erster Schritt hin zur praktisch verwertbaren Auslegung angesehen werden.

Unter dem Schlagwort **DIN EN 1591-1 „PLUS“** hat KLINGER Kempchen die gesammelte Erfahrung des letzten Jahrzehnts praxisorientiert und systematisch zusammengefasst.

Im Resultat werden die DIN EN 1591-1 Ergebnisse mit einer Reihe von intern entwickelten ergänzenden Nebenbetrachtungen kombiniert und erlauben so eine optimale Nutzung des jeweiligen Systempotentials sowie eine einfache und vergleichbare Klassifizierung von Flanschverbindungen. Im Fokus steht dabei das Vermögen der Verbindung dauerhaft technisch dicht zu sein.

Zusätzlich bietet der KLINGER Kempchen Ansatz die Möglichkeit den tatsächlich besten Kompromiss zwischen potentieller Bauteilüberlastung und nicht hinreichender Dichtungskraft zu finden.

Ein besonderes Augenmerk wurde dabei auch auf transiente An- und Abfahrvorgänge und Sicherheitsabschaltungen gelegt, da es genau diese Zustände sind, die in der Praxis sehr häufig ursächlich für Leckagen sind.

Die Kombination der parallelen Anwendung der DIN EN 1591-1 mit den über die Jahre erarbeiteten, zusätzlichen Bewertungskriterien erlaubt so, die häufig bemängelten Unterschiede zwischen „Praxis und Theorie“ aufzulösen und möglichst immer den besten Kompromiss zwischen Dichtheit und noch vertretbarer Bauteilbelastung zu finden.

Der beschriebene DIN EN 1591-1 „PLUS“ Ansatz zeichnet sich zusätzlich zu Berechnung nach DIN EN 1591-1 durch folgende Punkte aus:

- Erweiterte Berechnung und Bewertung des Flächenpressungsverlaufs und der daraus resultierenden Leckagesicherheit
- Erweiterte Berechnung und Bewertung des Verhaltens metallischer Schmiededichtungen
- Verwendung Korrekturen aus dem 2021er Entwurf der EN 1591-1
- Berücksichtigung zusätzlicher Lastzustände und möglicher Wechselwirkungen
- Erweiterte Bewertung der Ergebnisse der EN 1591-1; insbesondere der Bauteilplastifizierungen:

Klasseneinteilung / „Quality Grouping & Safety Classification“

3 Klasseneinteilung – „Quality Grouping“ & „Safety Classification“

Am Ende des KLINGER-Kempchen „DIN EN1591-1 PLUS“ Systems steht die Einstufung jeder Flanschverbindung in eine „Quality Group“ und eine „Safety Class“.

Um die zu erwartende Betriebssicherheit einer Flanschverbindung zukünftig auf einen Blick einschätzen zu können, wurde auf Basis der Kombination aus Leckagesicherheit und Bauteilbelastung ein einfaches Ampelsystem („Quality 1“ bis „Quality 3“) geschaffen.

- Quality Group 1 (grün) Betrieb ohne Einschränkungen möglich
- Quality Group 2 (orange) Betrieb möglich, aber geringe Reserven, ggf. Plastifizierungen
- Quality Group 3 (rot) Betrieb nicht empfohlen, Leckagen wahrscheinlich

Zur weitergehenden Detailauswertung wurde jede Quality Gruppe noch mal in je drei Klassen („Safety Class“) unterteilt. Diese Erlauben neben der generellen Einstufung der Tauglichkeit auch die Analyse der flanschspezifischen Problemstellen bzw. der verfügbaren Reserven.

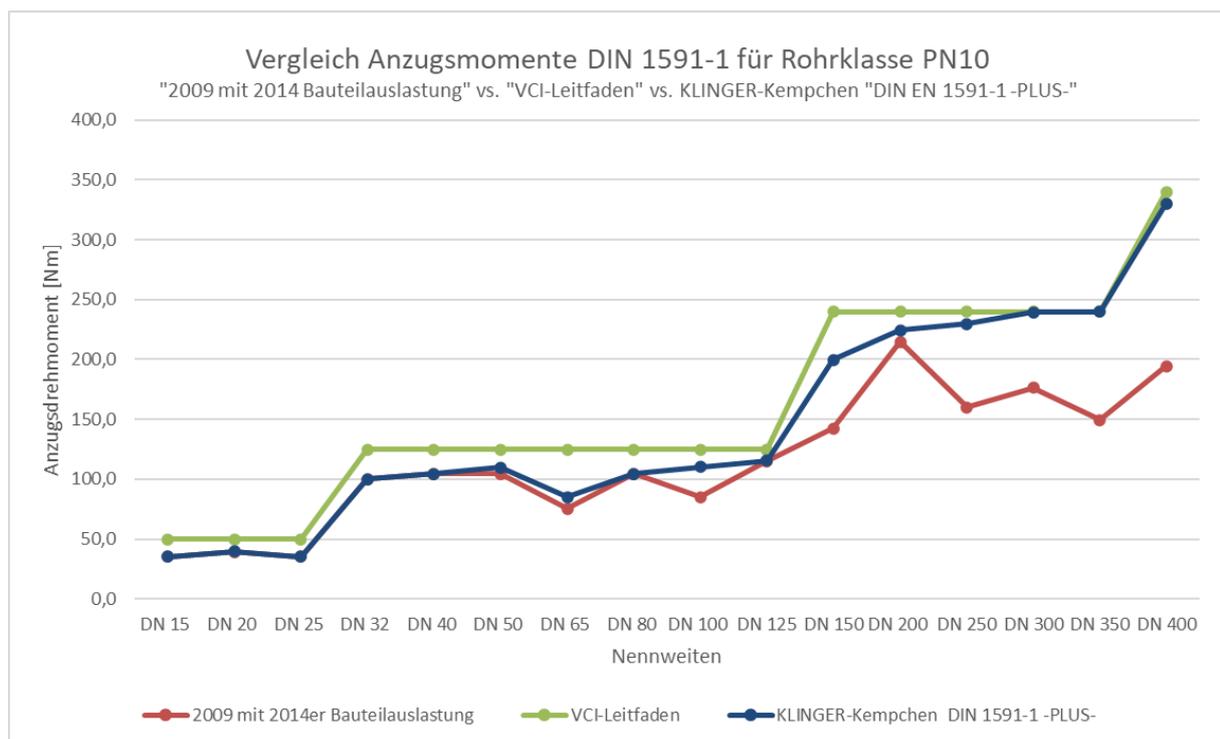
Leakage Safety >	Safe Class (Definition 2024-06 - Enerbie GmbH)				
	1,00	7	7	7	7
1,10	5	5	6	7	8
1,25	3	4	5	6	8
1,50	2	3	4	5	8
2,00	1	3	4	5	8
Utilization <	1,00	1,10	1,25	1,50	2,00

<p>Quality Group 1 - Störungsfreier Betrieb darf erwartet werden</p> <p>Safe Class 1 Gute Flächenpressung mit großen Reserve (An-, Abfahren, ec.)</p> <p>Safe Class 2 Ausreichende Flächenpressung mit Reserve (An-, Abfahren, ec.)</p> <p>Safe Class 3 Gerade noch hinreichende Flächenpressung, kaum Reserve (An-, Abfahren, ec.)</p>
<p>Quality Group 2 - Störungsfreier Betrieb unter günstigen Bedingungen möglich, Leckagen nicht ausgeschlossen</p> <p>Safe Class 4 Hin- bis Ausreichende Flächenpressung, unter Zulassung von kleineren lokalen Plasifizierungen</p> <p>Safe Class 5 Schwache bis Ausreichende Flächenpressung, ggf. nur unter Zulassung großer Plasifizierungen</p> <p>Safe Class 6 Schwache bis Hinreichende Flächenpressung, mit Gefahr von Leckagen durch Nachplastifizierung</p>
<p>Quality Group 3 - Betrieb unzulässig, Optimierung notwendig</p> <p>Safe Class 7 Zu geringe Flächenpressungen - Leckagen wahrscheinlich</p> <p>Safe Class 8 Hinreichende Flächenpressung unter Zulassung hoher Plastifizierung - Leckagen oder Bauteilversagen möglich</p> <p>Safe Class 9 kein Betrieb möglich</p>

4 Vergleich Anzugsmomente

Das nachfolgende Diagramm zeigt die unterschiedlichen resultierenden Montageanzugsmomente am Beispiel einer realen PN10er Chemie-Rohrklasse für die Verwendung von:

- a) **„2009 mit 2014er Bauteilbelastung“**
Berechnung nach 2009er DIN EN1591-1 Algorithmus mit Bauteilbelastung nach 2014er DIN EN 1591-1, wie lange Zeit von KLINGER Kempchen angewendet.
- b) **“VCI-Leitfaden“**
Anwendung des VCI-Leitfadens ohne Berechnung der spezifischen Verbindung
- c) **„KLINGER Kempchen DIN EN 1591-1 „PLUS“**
Parallele Berücksichtigung der tatsächlich erwarteten Bauteilbelastung auf Basis des Montageanzugsmomentes und der theoretischen Bauteilbelastung auf Basis der erforderlichen Mindestdichtungskraft und Anwendung der KLINGER Kempchen intern entwickelten Nebenbetrachtungen

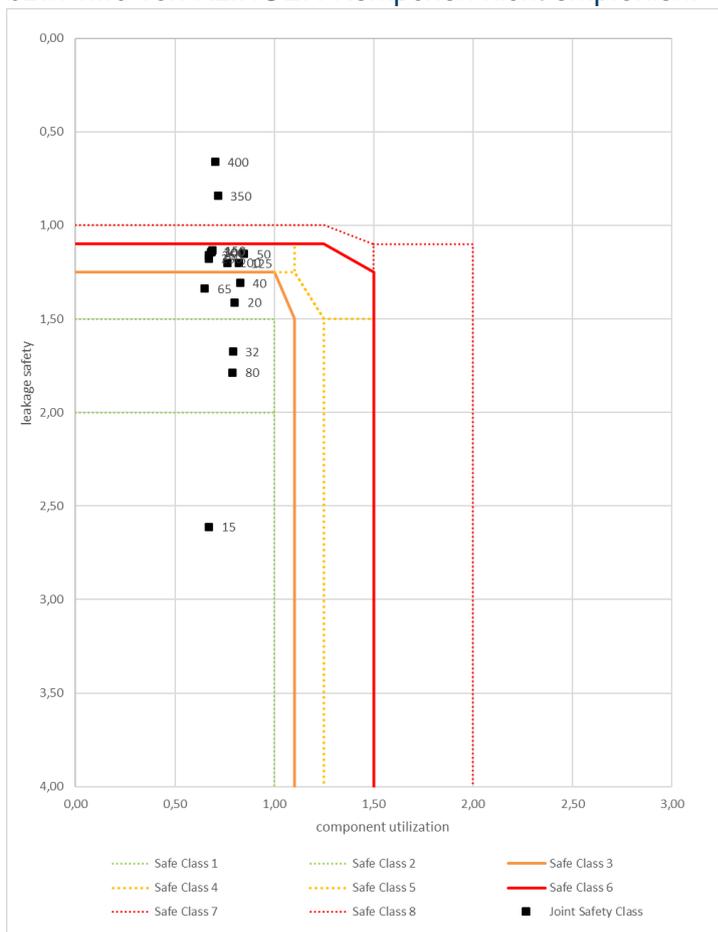


Die Unterschiede in den empfohlenen Drehmomenten zwischen den beiden DIN EN 1591-1 Varianten sind dabei nicht in erster Linie auf die zugrunde gelegte Version der DIN EN 1591-1 oder die Wahl der Software zurückzuführen, sondern resultieren maßgeblich aus der ganzheitlichen Betrachtung der jeweiligen Verbindungen in unserem Haus.

a) Nachfolgend die resultierende Klasseneinteilung mit den Anzugsmomenten nach „2009 mit 2014er Bauteilbelastung“



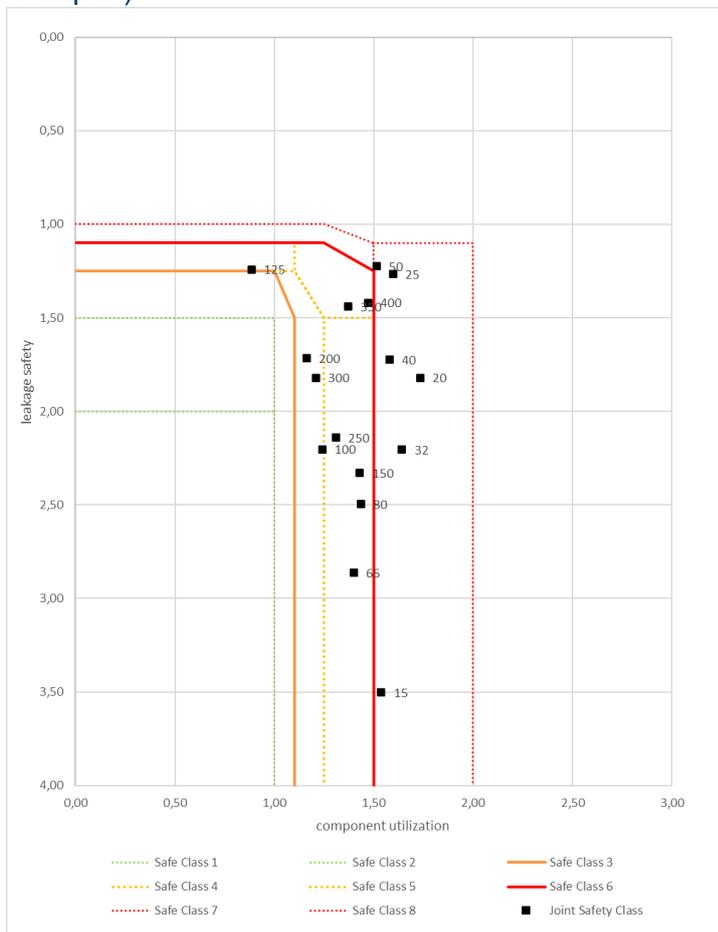
Unter Verwendung der so bestimmten Anzugsmomente erreichen die Nennweiten DN350 und DN400 nur „Safety Class 9“. Ein sicherer Betrieb der Verbindungen ist somit nicht möglich bzw. wird von KLINGER-Kempchen nicht empfohlen.



b) Nachfolgend die resultierende Klassifizierung mit den Anzugsmomenten nach „VCI-Leitfaden“



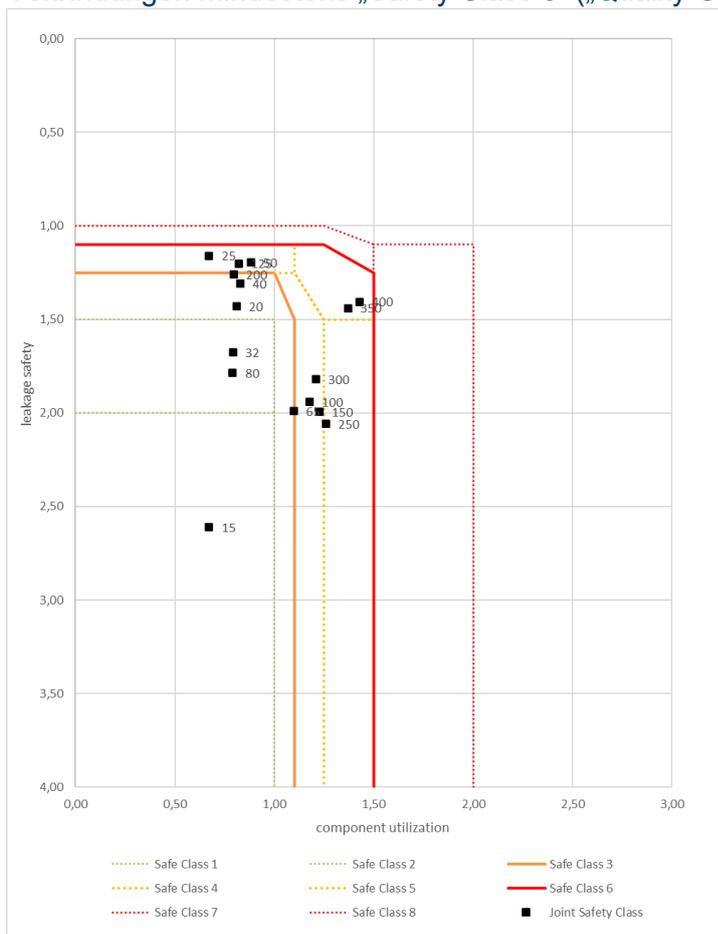
Unter Anwendung des vom VCI-Leitfadens empfohlenen Anzugsmoments erreichen die kleinen Nennweiten nur „Safety Class 8“ („Quality Group 3“), da die Schrauben rechnerisch überlastet werden. Alle anderen Nennweiten erreichen mindestens „Safety Class 6“ („Quality Group 2“).



c) Nachfolgend die resultierende Klassifizierung mit den Anzugsmomenten nach "KLINGER Kempchen DIN EN 1591-1 „PLUS“



Unter Anwendung des von KLINGER-Kempchen empfohlenen Anzugsmoments wird für alle Verbindungen mindestens „Safety Class 6“ („Quality Group 2“) erreicht.



5 Kommentar zur Verwendung des VCI-Leitfadens

Abschließend weist KLINGER-Kempchen darauf hin, dass die generische Anwendung der Drehmomente auf Basis des VCI-Leitfadens, ohne zusätzliche Validierung der individuellen Verbindung auf Basis des aktuellen DIN EN 1591-1 2021er Entwurfs (Stand der Technik) nicht empfehlenswert ist.

Für die hier betrachtete Rohrklasse, speziell für die größeren Nennweiten wurden mit dem DIN EN 1591-1 „PLUS“ Vorgehen ähnliche Anzugsmomente wie im VCI-Leitfaden bestimmt. Daraus lässt sich jedoch nicht ableiten, dass dies für jede, individuelle Verbindung im Anwendungsraum des VCI-Leitfadens gegeben ist.

Bereits an den vorab gezeigten Vergleich der resultierenden „Safety Class“ für die hier beispielhaft untersuchte PN10er Chemierohrklasse, lassen sich Schwächen, die nicht verbindungspezifischen Betrachtung nach aktuellem DIN EN 1591-1 Entwurf (2021), erkennen:



Für die Nennweiten DN15 bis DN50 wird z. B. durch Vorgabe eines unnötig hohen Anzugsmomentes nur „Safety Class 8“ erreicht, was „Quality Group 3“ entspricht. Dies ist darin begründet, dass innerhalb der Klassifizierung bereits kleine Überlastungen der Schraubenbolzen (25CrMo4), im Sinne der Sicherheit, verstärkt gewichtet werden.