

**Antwort des VDMA auf die E-Mail von Herrn [REDACTED] (BMUKN) vom  
29.04.2026**

E-Mail von Herrn [REDACTED] vom 29.04.2026. Im E-Mail-Text sind die Ziffern (1) bis (11) eingefügt, auf die sich die weiter unten aufgeführten Antworten des VDMA beziehen:

*Zunächst ist nicht hinreichend erkennbar, für welche konkreten Anlagentypen eine Ausnahme beantragt wird. Zwar werden zwei **Anwendungsbereiche (1)** benannt, diese sind jedoch zu unspezifisch, um eine belastbare Prüfung zu ermöglichen. Die genannten Kategorien*

- a) Kühl- und Klimatisierungssysteme für industrielle Schaltschränke sowie*
- b) (Rück-)Kühl- und Temperaturregelungssysteme für Werkzeugmaschinen*

*sind sehr weit gefasst. Eine **eindeutige Zuordnung (2)** zu den Kategorien des Anhangs IV ist auf dieser Grundlage nicht möglich. Ebenso wenig kann die Erforderlichkeit einer Ausnahme geprüft werden. Zudem ist der Antrag zeitlich nicht eingegrenzt. Bitte geben Sie daher an, für welchen Zeitraum die beantragten Ausnahmen jeweils - bezogen auf die einschlägigen Kategorien des Anhangs IV der F-Gas-Verordnung - gelten sollen. Wir bitten daher um eine konkretisierende Darstellung der betroffenen Anlagentypen, für die die Ausnahmegründe nach Artikel 11 Absatz 5 geltend gemacht werden. Für jede Anwendung sind insbesondere folgende Angaben erforderlich:*

- (3) Bauweise und Funktionsweise (ggf. Varianten sowie Größenklassen bei Integration). Es muss sich aus der Beschreibung/ Darstellung z.B. nachvollziehen lassen, dass es sich um einen Kühler im Sinne der Verordnung handelt oder um direkte Kühlung oder direkte Klimatisierung.*
- (4) Nennleistungen*
- (5) verwendete Kältemittel*
- (6) Kältemittelfüllmengen (ggf. differenziert nach Leistungsklassen) und daraus abgeleitete quotierte HFKW-Mengen pro Kalenderjahr.*
- (7) Gesamtmarktsituation in der EU (Hersteller/Anbieter, möglichst inkl. Marktanteile; diese Informationen können auch separat durch Hersteller an das BMUKN übermittelt werden)*
- (8) Stand der Entwicklung alternativer Technologien.*
- (9) Erforderlicher Zeitraum für die Entwicklung und Umstellung der Produktion und daraus abgeleitet die beantragte Ausnahmedauer.*
- (10) Darüber hinaus beantragen Sie Ausnahmen für alle „Eingebettete Kältemittel-Subsysteme (ERUS)“. Die Formulierung „Die hier beantragte Ausnahme sollte für alle in Anhang IV aufgeführten Produkte gelten, die die folgende Definition eines eingebetteten Kältemittel-Subsystems (ERUS) erfüllen oder ein eingebettetes Kältemittel-Subsystem (ERUS) als Unterkomponente enthalten“ bedarf in diesem Zusammenhang einer Klarstellung.*
- (11) Bezogen auf „Kühl- und Klimatisierungssysteme für industrielle Schaltschränke“ bitten wir ergänzend um eine explizite Bestätigung, dass seitens des Antragstellers eine Marktanalyse durchgeführt wurde und diese zu dem Ergebnis kommt, dass derzeit keine verbotskonformen Alternativen im EU-Markt verfügbar sind und die Voraussetzungen des Artikels 11 Absatz 5 erfüllt sind. Erste Rückmeldungen aus den Mitgliedstaaten sowie eigene Marktrecherchen deuten darauf hin, dass*

*entsprechende Alternativen bereits verfügbar sind bzw. bis zum Verbotszeitpunkt verfügbar sein werden. Bitte stellen Sie daher nachvollziehbar dar, in welchen Teilbereichen tatsächlich keine Alternativen zur Verfügung stehen (werden) und welcher Zeitraum für die Entwicklung bzw. Markteinführung verbotskonformer Produkte erforderlich ist.*

## **Stellungnahme des VDMA vom 13.05.2026**

### **a) Kühl- und Klimatisierungssysteme für industrielle Schaltschränke**

#### **(1) Anwendungsbereich**

Schaltschrankklimageräte, die unmittelbar an elektrischen Schaltschränken von CNC-Werkzeugmaschinen installiert sind. Als typische Montagevarianten kommen Türanbau, Seitenanbau sowie Dachanbau zur Anwendung. Die Geräte arbeiten mit einem integrierten Kältekreislauf und ermöglichen eine direkte Kühlung der im Schaltschrank enthaltenen Luft. Der typische Leistungsbereich liegt im Bereich von ca. 300 W bis 5 kW und ist auf die gezielte Abfuhr der Verlustwärme elektrischer Komponenten ausgelegt.

Die zugehörigen Schaltschränke sind entweder Bestandteil der Maschinenumhausung der CNC-Werkzeugmaschine oder befinden sich in unmittelbarer räumlicher Zuordnung zur Maschine (vgl. Abbildung 1, 2 und 3).

Die Schaltschrankklimageräte sind funktional und konstruktiv als Bestandteil der CNC-Werkzeugmaschine ausgebildet. Sie dienen ausschließlich der Temperaturhaltung der im Schaltschrank verbauten elektrischen Komponenten und damit der Sicherstellung des bestimmungsgemäßen Maschinenbetriebs. Eine eigenständige Nutzung außerhalb dieses Zusammenhangs ist nicht vorgesehen.

#### Abgrenzung zum Anwendungsbereich

Nicht Gegenstand des Anwendungsbereichs sind Schaltschrankklimageräte, die in separaten Technikräumen außerhalb der eigentlichen Fertigungsumgebung von CNC-Werkzeugmaschinen installiert sind oder für eine Aufstellung im Außenbereich ausgelegt sind.

#### **(2) Zuordnung nach Anhang IV Kategorie 8 b**

Die Zuordnung der Schaltschrankklimageräte zur Kategorie 8 b (stationäre Klimaanlage und Wärmepumpen) des Anhangs IV der EU-F-Gase-Verordnung ergibt sich daraus, dass der funktionale Schwerpunkt auf der Regelung der Lufttemperatur innerhalb eines abgegrenzten Volumens (Schaltschrank) liegt. Es handelt sich somit um Klimageräte zur Aufrechterhaltung definierter Umgebungsbedingungen innerhalb eines geschlossenen Luftraums.

Vor diesem Hintergrund ist eine Einordnung in Kategorie 8 b als Auffangkategorie für sonstige stationäre Klimaanlage außerhalb der klassischen Gebäudeklimatisierung grundsätzlich sachgerecht.

#### Hinweis zu Kategorie 8 d

Der VDMA zieht den Antrag für die Kategorie 8 d im Rahmen des VDMA-Ausnahmeantrags zurück, da die Leistungsklasse > 12 kW für ein Schaltschrank-Klimageräte einer CNC-Werkzeugmaschinen nicht relevant ist.

### **(3) Bauweise und Funktionsweise**

In einem Schaltschrank sind in der Regel eine Vielzahl von elektrischen Komponenten in dicht gepackter Anordnung verbaut. Diese Komponenten produzieren Verlustwärme, welche die Luft im Schaltschrank aufheizt und abgeführt werden muss.

Bei der Schaltschrankklimatisierung werden daher die darin verbauten Komponenten indirekt gekühlt, indem der Luft innerhalb des Schaltschranks Wärme entzogen wird.

Dazu ist in vielen Fällen eine Kompressions-Kältemaschine erforderlich, um die Wärme aus dem Schaltschrank an die Umgebungsluft abzuführen. Diese wird direkt, als in sich geschlossene Einheit, auf der Schaltschranktür, -wand oder dem Schaltschrankdach montiert.

Die Wärmeabfuhr erfolgt über einen intergrierten Wärmetauscher, der die Wärme aus der Luft des Schaltschranks aufnimmt und an das Kältemittel abgibt. Über den Kältekreislauf der Kompressions-Kältemaschine wird die Wärme vom Kältemittel über einen weiteren Wärmetauscher üblicherweise an die Hallenluft abgegeben.

Durch die vielen Zündquellen im Schaltschrank und der maschinenintegrierten oder maschinennahen Aufstellung mit weiteren möglichen Zündquellen, wird hier ein A1 Kältemittel, beispielsweise R513A, eingesetzt.

### **(4) Nennleistungen**

Die typischen Kühlleistungen einer Schaltschrankklimatisierung bei Werkzeugmaschinen decken einen Bereich von etwa 300 W bis 5 kW ab.

### **(5) Verwendete Kältemittel ab 01.01.2027**

R513A (A1-Kältemittel, nicht brennbar mit einem GWP 631).

### **(6) Kältemittelfüllmengen**

0,1 bis 1,5 kg pro Schaltschrankkühlgerät. Im Mittel ca. 0,75 kg.

Durch die Umstellung der Kältemittel von R134a (GWP 1430) auf R513A (GWP 631) wird der GWP-Wert bereits mehr als halbiert.

Schätzung vom VDW für 2024: 48.000 CNC-Werkzeugmaschinen für Deutschland (siehe Seite 11 des Ausnahmeantrags).

In der Regel hat jede CNC-Werkzeugmaschine einen aktiv gekühlten Schaltschrank. Somit ergibt sich ein jährlicher Verbrauch R513A von ca.:

$48.000 \times 0,75 \text{ kg} = 36.000 \text{ kg} = 36 \text{ Tonnen} = 36 \times 631 = 22.716 \text{ Tonnen CO}_2\text{-Äquivalent.}$

Wird davon ausgegangen, dass Deutschland im Jahr 2024 ca. 649 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen hat, haben die Schaltschrankkühlgeräte von CNC-Werkzeugmaschinen mit dem nicht brennbaren Kältemittel R513A einen Anteil von 0,0035 Prozent bzw. von 0,035 Promille daran.

## **(7) Gesamtsituation in der EU**

Eine detaillierte quantitative Aufstellung wird durch die beteiligten deutschen Hersteller separat an das BMUKN übermittelt.

## **(8) Stand der Entwicklung alternativer Technologien**

Am Markt werden Geräte mit Propan als Kältemittel beworben. Es ist durchaus technisch möglich, solche Geräte zu bauen und sicher zu betreiben, solange keine Zündquelle in der Umgebung präsent ist und sich das Kältemittel nicht lokal ansammeln kann (z.B. Betrieb im Freien). Letztlich kann aber eine dauerhafte Dichtheit des Kältemittelkreislaufs nicht über die gesamte Lebensdauer garantiert und somit eine Leckage (plötzlich oder schleichend) nicht ausgeschlossen werden.

Die Anwendung bzw. die Integration von Kühlgeräten mit brennbaren Kältemitteln in einer Werkzeugmaschine ist durch die permanente Präsenz von potenziellen Zündquellen nicht möglich.

Als einzige nicht brennbare Alternative zu R513A ist das Kältemittel CO<sub>2</sub> zu sehen. Menge CO<sub>2</sub> für ein Schaltschrankkühlgerät ca. 5,0 bis 7 kg.

Vorteile von CO<sub>2</sub> gegenüber Propan (R290) und R1234yf:

- GWP = 1.
- Nicht brennbar.
- Ungiftig.

Nachteile gegenüber dem nicht brennbaren Kältemittel R513A (GWP 631):

- Sehr hohe Betriebsdrücke (bis >100 bar).
- Höherer Entwicklungsaufwand und höhere Anforderungen an die Komponenten.  
Aufgrund geringer Stückzahlen noch hohe Bauteil- und somit Anlagenkosten:
  - Kosten für 10 kW CO<sub>2</sub>-Kühler ca. 20.000 €.
  - Kosten für 10 kW R513A-Kühler ca. 7.000 €.
- Transkritischer Betrieb bei hohen Umgebungstemperaturen komplex.
- Service & Know-how anspruchsvoll.

Bewertung: Ein CO<sub>2</sub>-basiertes Kälteaggregat stellt für CNC-Werkzeugmaschinen in Serienanwendung grundsätzlich eine sicherheitstechnisch geeignete Alternative zu einem R513A-Schaltschrankkühlgerät dar.

Derzeit sind CO<sub>2</sub>-Kältesysteme für diesen Anwendungsbereich jedoch aufgrund der noch geringen Marktdurchdringung wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Die Anschaffungskosten liegen aktuell bei etwa dem Faktor 3 im Vergleich zu etablierten Standardlösungen auf Basis von R513A. Ursache hierfür sind insbesondere die geringen Stückzahlen sowie der noch nicht industrialisierte Serienstandard im Segment der CNC-Bearbeitungszentren.

Nachteil von Propan (R290) und R1234yf (oder andere A2L Kältemittel) für die Klimatisierung von Schaltschränken an CNC-Werkzeugmaschinen:

Im Schaltschrank von CNC-Werkzeugmaschinen befinden sich leistungselektronische Komponenten (z. B. Frequenzumrichter für Servoantriebe sowie EMV-Netzfilter), die bauartbedingt mit großvolumigen Kondensatoren ausgestattet sind.

Deren Ausfall kann zu Brandereignissen mit Funkenbildung, heißen Oberflächen oder offenen Flammen führen. Derartige Schadensfälle sind aus der Praxis bekannt und dokumentiert.

Brennbare Kältemittel wie Propan (R290) oder R1234yf (oder andere A2L Kältemittel) können im Falle einer Leckage (z. B. durch Undichtigkeiten, Materialversagen oder mechanische Beschädigung infolge einer Maschinenhavarie) zündfähige Gas-Luft-Gemische bilden. Treffen diese auf die genannten Zündquellen, besteht die Gefahr einer Entzündung bis hin zu explosionsartigen Ereignissen.

Die räumliche Nähe von Leistungselektronik und brennbaren Kältemitteln führt somit zu einer sicherheitstechnisch kritischen Kombination zweier unabhängiger, realistisch anzunehmender Fehlerquellen mit potenziell erheblichen Schadensfolgen. Diese Konstellation ist als nicht hinreichend beherrschbares Brand- und Explosionsrisiko zu bewerten.

Aus diesem Grund wird die gemeinsame Anordnung von leistungselektrischen Zündquellen und brennbaren Kältemitteln von Sachversicherern regelmäßig abgelehnt oder mit erheblichen Auflagen belegt.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass Schaltschränke mit brennbaren Kältemitteln in der Regel den Gefahrgutvorschriften für den Lufttransport (IATA-DGR) unterliegen. Ein Transport per Flugzeug ist dadurch:

- entweder nicht zulässig oder
- nur unter erheblichen Einschränkungen und Spezialbedingungen durchführbar.

Dies hat zur Folge, dass eine zeitnahe Ersatzteilversorgung, insbesondere für Überseestandorte, in der Praxis nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden kann.

Neben den dargestellten sicherheitstechnischen Risiken ergeben sich somit zusätzliche logistische und wirtschaftliche Nachteile, die die Einsatzfähigkeit entsprechender Lösungen wesentlich einschränken.

Der Einsatz brennbarer Kältemittel (R290, R1234yf oder anderer A2L Kältemittel) zur Klimatisierung von Schaltschränken in CNC-Werkzeugmaschinen ist daher sowohl aus sicherheitstechnischer als auch aus betrieblicher Sicht als kritisch und nicht standgerecht zu bewerten.

## **(9) Zeitraum für die beantragte Ausnahme**

Bis 31. Dezember 2030.

Zur Etablierung von CO<sub>2</sub>-Kühlern und CO<sub>2</sub>-Schaltschrankkühlgeräten in ausreichender Stückzahl ist daher eine Übergangsphase erforderlich, in der weitere technische Optimierungen, Skaleneffekte und marktseitige Akzeptanz erreicht werden können.

## **(10) ERUS**

Die beantragte Formulierung zu „*Embedded Refrigerant-Using Subsystems (ERUS)*“ dient der eindeutigen Klarstellung, dass das Klimagerät für den Schaltschrank keiner isolierten regulatorischen Bewertung unterliegt, sondern ausschließlich im Kontext seiner Systemfunktion zu betrachten ist.

Das Klimagerät für den Schaltschrank ist sowohl funktional als auch konstruktiv integraler Bestandteil der CNC-Werkzeugmaschine. Sie erfüllen die spezifische Aufgabe der Temperaturregelung der im Schaltschrank verbauten elektrischen Komponenten und gewährleisten damit unmittelbar den bestimmungsgemäßen und sicheren Betrieb der Gesamtmaschine.

Eine eigenständige Nutzung außerhalb dieses funktionalen Zusammenhangs ist weder vorgesehen noch technisch sinnvoll. Entsprechend ist die regulatorische Einordnung zwingend im Kontext der übergeordneten Maschine (CNC-Werkzeugmaschinen) vorzunehmen.

Die ERUS-Definition gibt lediglich einen Überblick zum Thema. Letztlich wird im VDMA-Ausnahmeantrag eine Ausnahme mit Fokus auf ERUS-Vertreter der Kategorie 8 b des Anhangs IV der EU-F-Gase-Verordnung beantragt.

## **(11) Marktanalyse**

Schaltschrankkühlgeräte für CNC-Werkzeugmaschinen, die ein nicht brennbares Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 mit einem Global Warming Potential (GWP) < 150 einsetzen, sind derzeit nicht als serienreife Standardprodukte mit relevanter Marktdurchdringung verfügbar. Zwar erfüllt CO<sub>2</sub> (R744) die regulatorischen Anforderungen (A1, GWP = 1), jedoch ist dessen Einsatz in diesem Anwendungsbereich bislang nur in Einzelfällen bzw. Pilotanwendungen anzutreffen.

Eine breite industrielle Etablierung von CO<sub>2</sub> in standardisierten Schaltschrankkühlösungen für CNC-Werkzeugmaschinen ist aktuell nicht gegeben.

## **Zeichnungen**

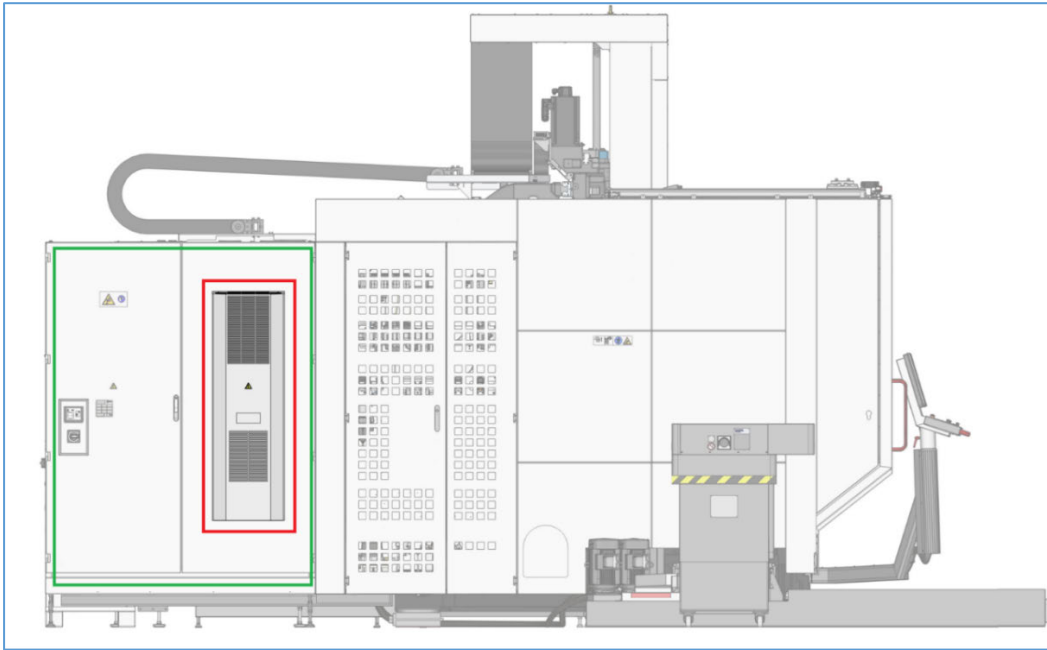


Abbildung 1: CNC-Werkzeugmaschine mit Schaltschrank (grün) und einem Klimagerät (rot) im Türanbau.

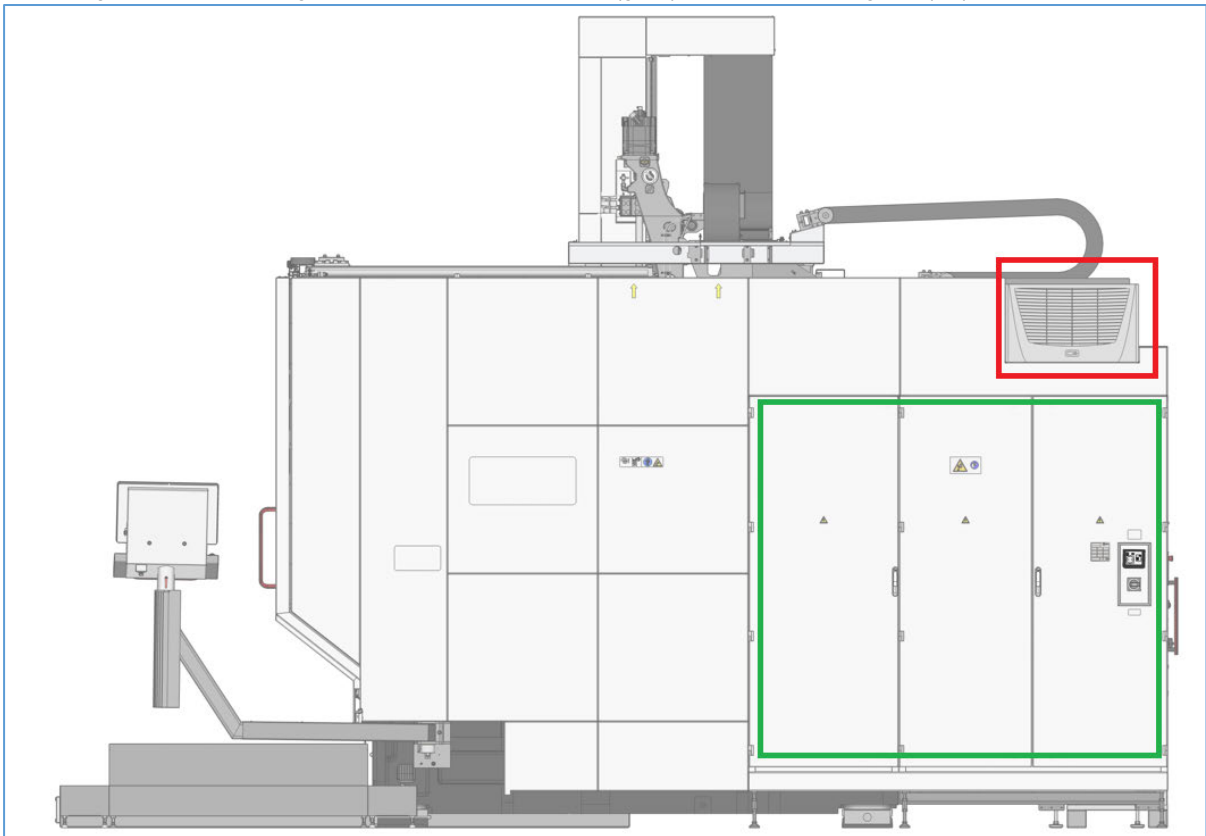


Abbildung 2: CNC-Werkzeugmaschine mit Schaltschrank (grün) und einem Klimagerät (rot) im Dachanbau

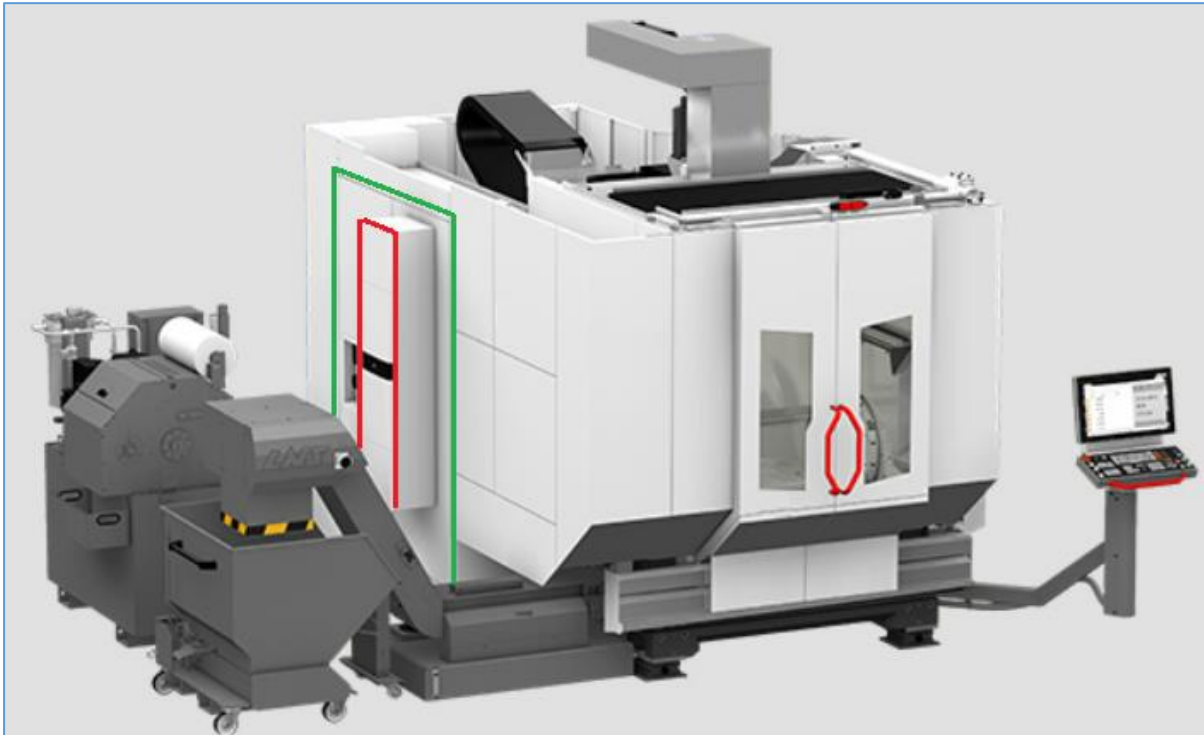


Abbildung 3: CNC-Werkzeugmaschine mit Schaltschrank (grün) und einem Klimagerät (rot) im Türanbau.

## b) (Rück-)Kühl- und Temperaturregelungssysteme für Werkzeugmaschinen

### (1) Anwendungsbereich

Der Anwendungsbereich umfasst Rückkühl- und Temperaturregelungssysteme für CNC-Werkzeugmaschinen in Form von eigenständigen, technisch abgeschlossenen Kühlgeräten (nachfolgend „Chiller“ genannt). Die unter diesen Anwendungsbereich fallenden Systeme bewegen sich typischerweise in einem Leistungsbereich von ca. 1 kW bis 50 kW.

Chiller im Sinne dieser Abgrenzung sind Systeme, die:

- einem Prozessmedium (insbesondere Wasser, ggfs. mit Zusätzen, Öl oder Emulsion) Wärme entziehen,
- die Temperatur dieses Mediums aktiv auf einen vorgegebenen Sollwert regeln (geschlossener Regelkreis),
- die entzogene Wärme über ein geeignetes System (z. B. luftgekühlter oder wassergekühlter Verflüssiger) an die Umgebung abführen,
- mit einem integrierten Kältekreislauf arbeiten,
- zur gezielten thermischen Beeinflussung eines Prozessmediums eingesetzt werden,
- und im unmittelbaren funktionalen Zusammenhang mit einer CNC-Werkzeugmaschine installiert sind.

Die Integration erfolgt typischerweise durch einen Anbau an die Maschinenumhausung (Seiten- oder Dachmontage) oder durch eine freie Aufstellung in unmittelbarer räumlicher Nähe zur Maschine mit entsprechenden Medienanschlüssen zur CNC-Werkzeugmaschine (vgl. Abbildungen 4, 5, 6 und 7).

### Abgrenzung zum Anwendungsbereich

Nicht unter diesen Anwendungsbereich fallen insbesondere:

- allgemeine Raumklimatisierungsanlagen,
- zentrale Kaltwassersätze ohne spezifischen Maschinenbezug,
- rein passive Kühlsysteme ohne eigenen Kältekreislauf (z. B. Wärmetauscher ohne aktive Kälteerzeugung),
- Kühleinrichtungen ohne Regelungsfunktion, die ausschließlich zur Wärmeabfuhr dienen.

## **(2) Zuordnung nach Anhang IV Kategorie 7 b**

Die Zuordnung der Chiller zur Kategorie 7 b („Kühler“) des Anhangs IV der EU-F-Gase-Verordnung ergibt sich daraus, dass der funktionale Schwerpunkt auf der Kühlung eines Prozessmediums liegt, wobei die entzogene Wärme über ein geeignetes System (z. B. luftgekühlter oder wassergekühlter Verflüssiger) an die Umgebung abführt wird.

Vor diesem Hintergrund ist eine Einordnung in Kategorie 7 b grundsätzlich sachgerecht.

### Anmerkung

Die Chiller sind funktional und konstruktiv als Bestandteil der CNC-Werkzeugmaschine ausgebildet. Sie sind als maschinennahe Nebeneinrichtungen anzusehen, die eine wesentliche Funktion für den bestimmungsgemäßen Betrieb der CNC-Werkzeugmaschine erfüllen. Sie tragen maßgeblich zur thermischen Stabilität, zur Prozesssicherheit sowie zur Bearbeitungsgenauigkeit bei und sind insbesondere in hochpräzisen Fertigungsanwendungen als funktionskritisch einzustufen. Eine eigenständige Nutzung außerhalb dieses Zusammenhangs ist nicht vorgesehen.

## **(3) Bauweise und Funktionsweise**

Bei einer CNC-Werkzeugmaschine gibt es eine Reihe von Komponenten, die aufgrund ihrer Funktion eine hohe Verlustwärme produzieren oder durch äußere Einflüsse Wärme aufnehmen. In vielen Fällen hängt von genau diesen Komponenten aber auch maßgeblich die Präzision der Werkzeugmaschine ab. Daher müssen sie gekühlt werden.

Typische Beispiele hierfür sind die Achsantriebe, die Haupt- oder Werkzeugspindel, der Kühlschmierstoff, das Maschinenbett sowie das Hydrauliköl.

Die zu kühlenden Komponenten sind über die ganze Maschine verteilt und werden an einen oder mehrere Kühlkreisläufe angeschlossen, die wiederum an ein oder mehrere Rückkühlaggregate (Chiller) angeschlossen werden. Um die Wege kurz und die Leitungsverluste niedrig sowie die Aufstellfläche (Footprint) klein zu halten, sind die Rückkühlaggregate (Chiller) oft ganz in die Maschinenverkleidung integriert oder befinden sich in direkter Nähe zur Maschine.

Um die Wärme abzuführen, zirkuliert Kühlflüssigkeit in den Kühlkreisläufen, die die Wärme an den einzelnen Komponenten aufnimmt und zum Rückkühlaggregat führt. Dort wird über einen integrierten Wärmetauscher die Wärme von der Kühlflüssigkeit an das Kältemittel übergeben. Über den Kältekreislauf wiederum wird die Wärme über einen weiteren Wärmetauscher üblicherweise an die Hallenluft abgegeben.

Das Rückkühlaggregat ist normalerweise als Kompressionskältemaschine ausgeführt. Durch die oft vollständige Integration in die Werkzeugmaschine oder die maschinennahe Aufstellung und die damit einhergehende Nähe zu Zündquellen wird ein A1 Kältemittel, beispielsweise R513A, verwendet.

#### **(4) Nennleistungen**

Die typischen Kühlleistungen der Maschinenkühlung einer Werkzeugmaschine decken bei dezentraler Aufstellung einen Bereich von ca. 1 kW bis 50 kW ab.

#### **(5) Verwendete Kältemittel ab 01.01.2027**

R513A (A1-Kältemittel, nicht brennbar mit einem GWP 631).

#### **(6) Kältemittelfüllmengen**

1 bis 10 kg pro Chiller. Im Mittel ca. 5 kg.

Schätzung vom VDW für 2024: 48.000 CNC-Werkzeugmaschinen für Deutschland (siehe Seite 11 des Ausnahmeantrags).

Es ist davon auszugehen dass jede CNC-Werkzeugmaschinen einen Chiller hat. Somit ergibt sich ein jährlicher Verbrauch R513A von ca.:

$48.000 \times 5,0 \text{ kg} = 240.000 \text{ kg} = 240 \text{ Tonnen} = 36 \times 631 = 151.440 \text{ Tonnen CO}_2\text{-Äquivalent.}$

Wird davon ausgegangen, dass Deutschland im Jahr 2024 ca. 649 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente ausgestoßen, haben die Schaltschrankkühlgeräte von CNC-Werkzeugmaschinen mit dem nicht brennbaren Kältemittel R 513A einen Anteil von 0,02 Prozent bzw. von 0,2 Promille daran.

#### **(7) Gesamtmarktsituation in der EU**

Eine detaillierte quantitative Aufstellung wird durch die beteiligten deutschen Hersteller separat an das BMUKN übermittelt.

#### **(8) Stand der Entwicklung alternativer Technologien**

Als einzige nicht brennbare Alternative zu R513A ist das Kältemittel CO<sub>2</sub> zu sehen. Menge für einen Chiller ca. 5,0 bis 7 kg.

Vorteile von CO<sub>2</sub> gegenüber Propan (R290) und R1234yf:

- GWP = 1.
- Nicht brennbar.
- Ungiftig.

Nachteile gegenüber dem nicht brennbaren Kältemittel R513A (GWP 631):

- Sehr hohe Betriebsdrücke (bis >100 bar).
- Höherer Entwicklungsaufwand und höhere Anforderungen an die Komponenten. Aufgrund geringer Stückzahlen noch hohe Bauteil- und somit Anlagenkosten:

- Kosten für 10 kW CO<sub>2</sub>-Kühler ca. 20.000 €.
- Kosten für 10 kW R513A-Kühler ca. 7.000 €.
- Transkritischer Betrieb bei hohen Umgebungstemperaturen komplex.
- Service & Know-how anspruchsvoll.

Bewertung: Ein CO<sub>2</sub>-basiertes Kälteaggregat stellt für CNC-Werkzeugmaschinen in Serienanwendung grundsätzlich eine sicherheitstechnisch geeignete Alternative zu einem R513A-Chiller dar.

Derzeit sind CO<sub>2</sub>-Kältesysteme für diesen Anwendungsbereich jedoch aufgrund der noch geringen Marktdurchdringung wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Die Anschaffungskosten liegen aktuell bei etwa dem Faktor 3 im Vergleich zu etablierten Standardlösungen auf Basis von R513A. Ursache hierfür sind insbesondere die geringen Stückzahlen sowie der noch nicht industrialisierte Serienstandard im Segment der CNC-Bearbeitungszentren.

#### Nachteil von Propan (R290) und R1234yf für die Kühlung von CNC-Werkzeugmaschinen:

Stoffeigenschaften und Grundrisiko:

Propan und R1234yf sind schwerer als Luft. Im Leckagefall – z. B. infolge fehlerhafter Instandhaltung oder einer unvorhersehbaren Havarie – breitet sich Propan und R1234yf nicht nach oben aus, sondern sammelt sich bodennah und in tiefliegenden Bereichen.

Besondere Gefährdung durch Maschinengeometrie und Aufstellort:

CNC-Werkzeugmaschinen weisen konstruktionsbedingt eine stark zerklüftete Maschinenkontur mit zahlreichen gasrückhaltenden Strukturen auf. Dazu zählen insbesondere:

- Maschinenumhausungen.
- Spänewannen und Späneschächte.
- Kühlschmierstoffbehälter.
- Kabelkanäle und Leitungstrassen.
- Unterflur- und Bodenbereiche.
- Wartungs- und Servicebereiche.

Diese Bereiche wirken im Leckagefall als Gasfallen, in denen sich Propan oder R1234yf ansammeln kann.

Begrenzte Wirksamkeit technischer Schutzmaßnahmen (Sensoren, ATEX-Lüfter, usw.):

Ein wirksames Abfließen oder eine zuverlässige Verdünnung des Gases ist unter realen Betriebsbedingungen nicht sicher gewährleistet, selbst bei:

- vorhandener oder nachgerüsteter Zwangsbelüftung,
- allgemeiner Hallenlüftung,
- lokaler Absaugung.

Aufgrund der lokalen Geometrie und niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten verbleiben Gasansammlungen über einen längeren Zeitraum lokal konzentriert, anstatt sich gleichmäßig zu verdünnen.

Resultierendes Restrisiko:

Dadurch entsteht ein nicht tolerierbares Restrisiko, insbesondere hinsichtlich:

- Bildung zündfähiger explosionsfähiger Atmosphäre,
- verzögerter oder unerkannter Gasansammlung,

- möglicher Zündquellen<sup>1</sup> im Maschineninneren (Bearbeitungsprozess, elektrische Anlagen, heiße Oberflächen, elektrostatische Entladungen),
- Gefährdung von Personen bei Wartung, Störungsbeseitigung oder Instandhaltung.

Eine sichere Beherrschung dieses Risikos ist konstruktiv und organisatorisch nicht zuverlässig zu gewährleisten.

Zusätzlich ist zu berücksichtigen, dass die Chiller mit brennbaren Kältemitteln in der Regel den Gefahrgutvorschriften für den Lufttransport (IATA-DGR) unterliegen. Ein Transport per Flugzeug ist dadurch:

- entweder nicht zulässig oder
- nur unter erheblichen Einschränkungen und Spezialbedingungen durchführbar.

Dies hat zur Folge, dass eine zeitnahe Ersatzteilversorgung, insbesondere für Übersee Standorte, in der Praxis nicht mehr zuverlässig gewährleistet werden kann.

Neben den dargestellten sicherheitstechnischen Risiken ergeben sich somit zusätzliche logistische und wirtschaftliche Nachteile, die die Einsatzfähigkeit entsprechender Lösungen wesentlich einschränken.

Der Einsatz brennbarer Kältemittel (R290, R1234yf) zur Kühlung von CNC-Werkzeugmaschinen ist daher sowohl aus sicherheitstechnischer als auch aus betrieblicher Sicht als kritisch und nicht standgerecht zu bewerten

## **(9) Zeitraum für die beantragte Ausnahme**

Bis 31. Dezember 2030.

Zur Etablierung von CO<sub>2</sub>-Kühlern in ausreichender Stückzahl ist daher eine Übergangsphase erforderlich, in der weitere technische Optimierungen, Skaleneffekte und marktseitige Akzeptanz erreicht werden können.

## **(10) ERUS**

Die beantragte Formulierung zu „*Embedded Refrigerant-Using Subsystems (ERUS)*“ dient der eindeutigen Klarstellung, dass die Chiller keiner isolierten regulatorischen Bewertung unterliegen, sondern ausschließlich im Kontext seiner Systemfunktion zu betrachten ist.

---

### **<sup>1</sup> Mögliche Zündquellen:**

Im Maschinenraum:

- Flammen und heiße Oberflächen (z. B. bei Versagen der KSS-Versorgung oder durch falsch eingestellte Kühlmittel-Düsen entstehen heiße Werkstücke bzw. Werkzeuge, Brand, Verpuffung)
- mechanisch erzeugte Funken (Schleifbearbeitung)
- elektrische Funken (durch Erodierbearbeitung)
- Laserstrahlung

Außerhalb d. Maschinenraums:

- heiße Oberflächen (z.B. Hitzeentwicklung bei Brand im Maschinenraum)
- Flammen (z.B. kurzzeitiger Austritt von Stichflammen durch die Druckentlastungsklappe auf dem Maschinendach bei einer Verpuffung im Maschinenraum)

Zündquellen in der Maschinenumgebung:

- benachbarte Maschinen
- mechanische Bearbeitungen (z.B. Funkenflug durch „Flexen“)
- menschliches Fehlverhalten (z.B. Zigaretten)

Die Chiller sind funktional und konstruktiv als Bestandteil der CNC-Werkzeugmaschine ausgebildet. Sie sind als maschinennahe Nebeneinrichtungen anzusehen, die eine wesentliche Funktion für den bestimmungsgemäßen Betrieb der CNC-Werkzeugmaschine erfüllen. Sie tragen maßgeblich zur thermischen Stabilität, zur Prozesssicherheit sowie zur Bearbeitungsgenauigkeit bei und sind insbesondere in hochpräzisen Fertigungsanwendungen als funktionskritisch einzustufen.

Eine eigenständige Nutzung außerhalb dieses funktionalen Zusammenhangs ist weder vorgesehen noch technisch sinnvoll. Entsprechend ist die regulatorische Einordnung zwingend im Kontext der übergeordneten Maschine (CNC-Werkzeugmaschinen) vorzunehmen.

Die ERUS-Definition gibt lediglich einen Überblick zum Thema. Letztlich wird im VDMA-Ausnahmeantrag eine Ausnahme mit Fokus auf ERUS-Vertreter der Kategorie 7 b des Anhangs IV der EU-F-Gase-Verordnung beantragt.

## (11) Marktanalyse

Chiller für CNC-Werkzeugmaschinen, die ein nicht brennbares Kältemittel der Sicherheitsklasse A1 mit einem Global Warming Potential (GWP) < 150 einsetzen, sind derzeit nicht als serienreife Standardprodukte mit relevanter Marktdurchdringung verfügbar. Zwar erfüllt CO<sub>2</sub> (R744) die regulatorischen Anforderungen (A1, GWP = 1), jedoch ist dessen Einsatz in diesem Anwendungsbereich bislang nur in Einzelfällen bzw. Pilotanwendungen anzutreffen.

Eine breite industrielle Etablierung von CO<sub>2</sub> in standardisierten Kühlern (Chiller) für CNC-Werkzeugmaschinen ist aktuell nicht gegeben.

## Zeichnungen

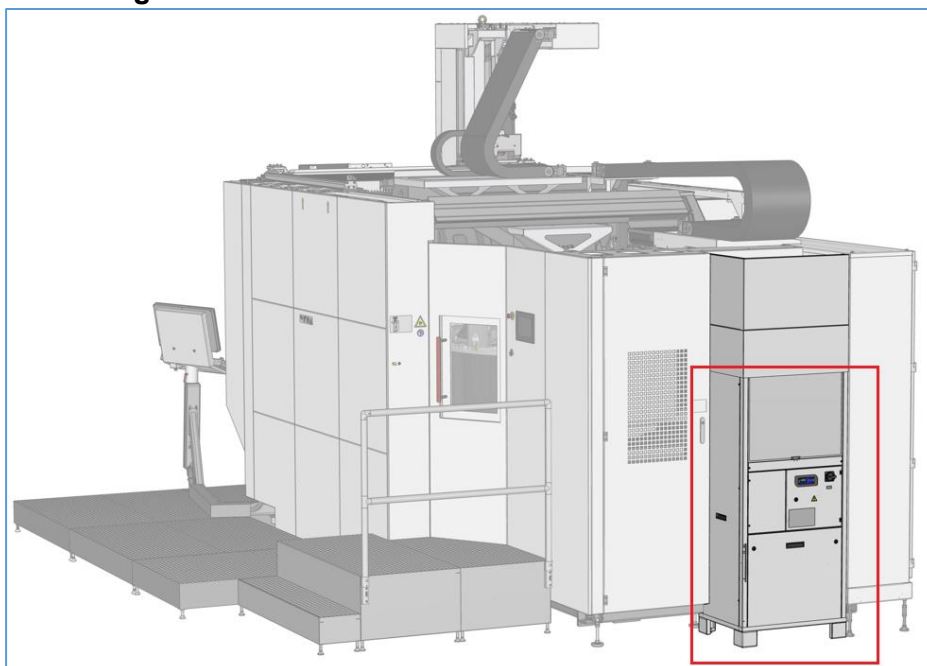


Abbildung 4: CNC-Werkzeugmaschine und einem Chiller (rot) für die Kühlung der WZM in Seitenmontage.

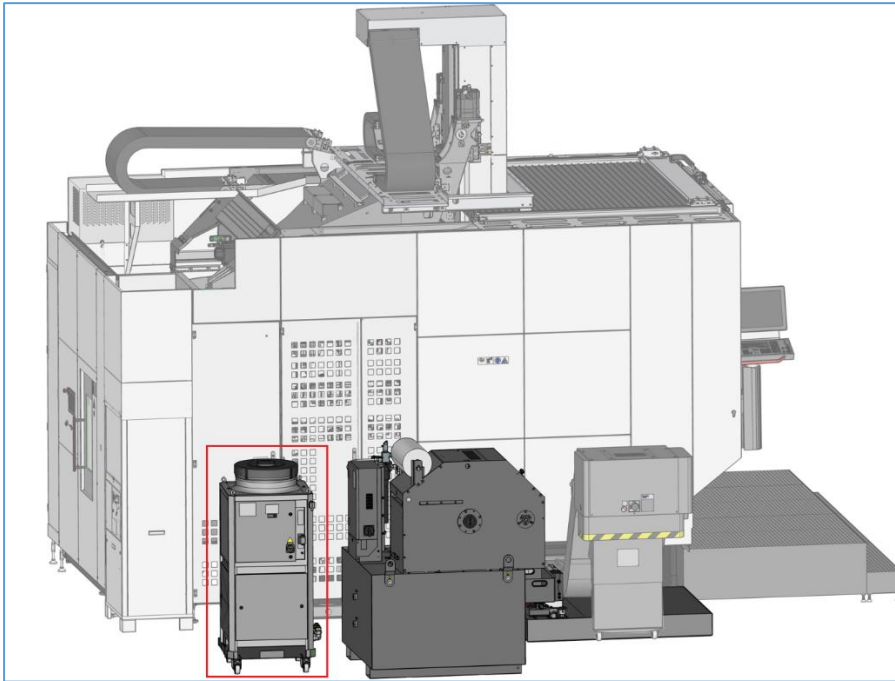


Abbildung 5: CNC-Werkzeugmaschine und einem Chiller (rot) für die Kühlung der Kühlschmierstoffes (Emulsion) in maschinennaher Aufstellung.

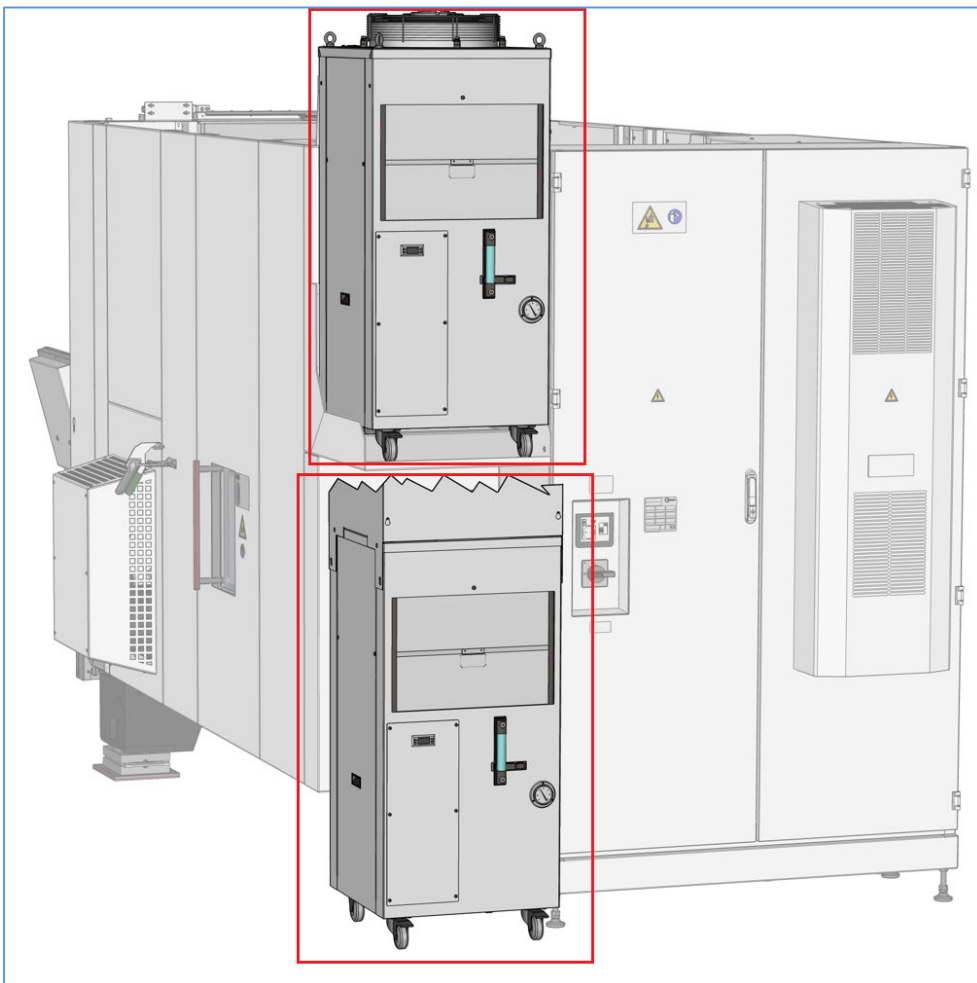


Abbildung 6: CNC-Werkzeugmaschine und einem Chiller (rot) für die Kühlung der WZM in Seitenmontage.

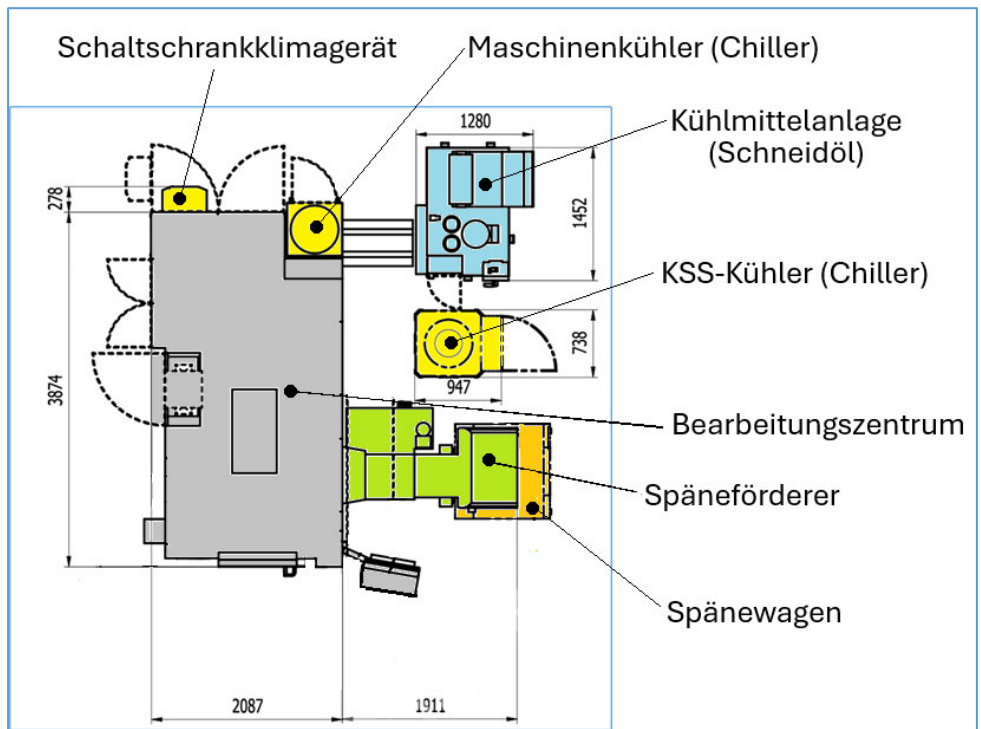


Abbildung 7: Aufstellplan einer CNC-Werkzeugmaschine mit einem Schaltschrankklimagerät und zwei Chillern.